

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2010

Bc. RADKA MIHULOVÁ

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
OBOR ŘÍZENÍ JAKOSTI
KATEDA TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ**



**MODELOVÁNÍ TAŽNOSTI DVOJMO SKANÉ
POLYPROPYLENOVÉ PŘÍZE**

**MODELING OF BREAKING STRAIN OF TWO-PLY
POLYPROPYLENE YARN**

**Bc. Radka Mihulová
KTM - 530**

Vedoucí práce: Ing. Bc. Monika Vyšanská, PhD.

Počet stran: 53

Počet obrázků: 25

Počet tabulek: 21

Počet příloh: 2

LIBEREC 2010

Bc. RADKA MIHULOVÁ

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

Dne 3. ledna 2010

Bc. Radka Mihulová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří mi při psaní této diplomové práce pomáhali. Především Ing. Bc. Monice Vyšanské, PhD. za její ochotu, cenné rady a trpělivost, se kterou se mi věnovala. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, která mi byla v době studia materiální a hlavně psychickou oporou.

Anotace:

Tato diplomová práce má za úkol seznámit s problematikou modelování tažnosti délkových útvarů. V souvislosti s tím byly nastíněny charakteristiky dvojmo skané příze a byl vytvořen model tažnosti dvojmo skané příze. Tento model byl následně ověřen na experimentálních datech. Při zjišťování experimentálních dat byly tvořeny vlastní dvojmo skané příze.

Annotation:

This thesis deals with the modeling of the breaking strain of linear formations. In relation to this, characteristics of two ply yarns were identified and the model of breaking strain of two ply yarns was created. Subsequently, the model was verified based on the experimental data. For the purpose of analysis and collection of data, two ply yarns were created.

Klíčová slova:

Dvojmo skaná příze

Modelování

Tažnost

Průměr

Zákrut

Skaní

Polypropylen

Keywords:

Two ply yarn

Modeling

Elongation at break

Diameter

Twist

Plying

Polypropylene

Obsah

Úvod	1
1. Rešeršní část	2
1.1 Pojem příze	2
1.1.1 Jemnost příze	2
1.1.2 Jemnost skané příze	2
1.2 Zákrut příze	4
1.2.1 Zákrutový koeficient	4
1.3 Skaní	5
1.4 Charakteristické rozměry dvojmo skané příze	6
1.5 Tažnost dvojmo skané příze	8
1.6 Polypropylen (PP)	9
1.6.1 Vlastnosti PP vláken	9
1.7 Dynamometr INSTRON 4411	10
1.7.1 Parametry přístroje INSTRON 4411	10
1.8 Zjišťování tažnosti přízí podle ČSN EN ISO 2062	11
1.9 Statistické zpracování experimentálních dat	12
1.9.1 Nezávislost dat	12
1.9.2 Normalita	12
1.9.3 Homogenita	12
1.9.4 Párové porovnání	13
2. Teoretická část	14
2.1 Odvození vztahů pro teoretické modely tažnosti dvojmo skané příze	14
2.1.1 Odvození matematického modelu tažnosti dvojmo skané příze bez uvažování kontrakce průměru	17
2.1.2 Odvození matematického modelu tažnosti dvojmo skané příze při uvažování kontrakce průměru	19
2.1.3 Shrnutí výsledných vztahů	21

3.	Experimentální část.....	22
3.1	Měření příze	22
3.2	Tvorba experimentálně vyrobených dvojmo skaných přízí	23
3.2.1	Postup tvorby experimentálně vyrobených dvojmo skaných přízí	23
3.3	Změna délky při tvorbě dvojmo skaných přízí.....	25
3.4	Zákrut dvojmo skaných přízí	27
3.5	Průměr dvojmo skané příze	27
3.6	Experimentální hodnoty tažností jednoduchých PP přízí	31
3.7	Experimentální hodnoty tažností dvojmo skaných PP přízí.....	32
3.8	Výpočty modelových hodnot.....	39
3.8.1	Modely tažnosti dvojmo skaných přízí.....	39
3.9	Párové porovnání experimentálních a modelových hodnot.....	47
3.9.1	Párové porovnání modelových hodnot počítaných podle vztahů (10), (21) a (28) a experimentálních hodnot při 100 – 1000 Z/m.....	47
3.9.2	Párové porovnání modelových hodnot počítaných podle vztahů (10), (21) a (28) a experimentálních hodnot při 200 – 600 Z/m.....	49
	Závěr	52

Seznam použitých zkratk a symbolů

PP	polypropylen
atd.	a tak dále
obr.	obrázek
č.	číslo
kap.	kapitola
resp.	respektive
tab.....	tabulka
T	jemnost příze [tex]
T_D	jemnost druzené příze [tex]
T_j	jemnost jednoduché příze [tex]
T_s	jemnost skané příze [tex]
m	hmotnost jednoduché příze [g]
m_s	hmotnost skané příze [g]
l_j	délka jednoduché příze [m]
l_s	konečná délka skané příze po vložení počtu ovinů o [m]
l_0	délka vzorku příze před rozkroucením [mm]
l	délka vzorku příze po rozkroucení [mm]
Δl	změna původní délky příze [mm]
n	počet jednoduchých přízí [-]
δ	seskání [%]
Z	zákrut [1/m]
α	zákrutový koeficient podle Koechlina [$m^{-1} \cdot \text{tex}^{1/2}$]
a	zákrutový koeficient podle Phrise [$m^{-1} \cdot \text{tex}^{2/3}$]
κ_s	intenzita skacího zákrutu [-]
D_l	průměr dvojmo skané příze [m]
Z_s	skací zákrut [1/m]
β_s	úhel, který svírá osa jednoduché příze s osou dvojmo skané příze [°]
ε_s	tažnost dvojmo skané příze [%]
ε_j	tažnost jednoduché příze [%]
ε_{s1}	zjednodušený model tažnosti dvojmo skané příze bez uvažování kontrakce průměru [%]
ε_{s2}	model tažnosti dvojmo skané příze bez uvažování kontrakce průměru [%]

ε_{s3} model tažnosti dvojmo skané příze při uvažování vzniku kontrakce průměru [%]

F síla [N]

g tíhové zrychlení ($9,81 \approx 10$) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

o počet ovinů [-]

F_j síla působící ve směru osy jednoduché příze [N]

F_s síla působící ve směru osy dvojmo skané příze [N]

h výchozí vzdálenost čelistí [mm]

k koeficient vyjadřující změnu průměru příze při tahovém namáhání [-]

R^2 koeficient determinace [-]

R korelační koeficient [-]

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá otázkou modelování tažnosti dvojmo skané polypropylenové příze. Jsou zde popsány základní parametry dvojmo skané příze, které napomáhají k pochopení určitých zákonitostí týkajících se těchto přízí. Tato práce má za úkol zjistit pomocí odvozených matematických modelů, zda-li je možné stanovit tažnost dvojmo skané polypropylenové příze při znalostech jejího průměru, tažnosti příze jednoduché a počtu skacích zákrutů na jeden metr.

Modelování patří k tradičním postupům v některých technických disciplínách. Modelování nedokáže v žádném případě obsáhnout samotnou realitu, nýbrž zjednodušeným pohledem nahlíží na určitou část reálného světa. Pro úspěšné dotvoření a využití modelu je třeba pochopit problém, který chceme zachytit, mít předem specifikovaný cíl a zároveň použít kvalitní zdrojová data [1].

Práce má tři základní části. První, teoretická část, popisuje základní parametry jednoduchých a následně dvojmo skaných přízí. Jsou zde uvedeny základní informace o statistickém zpracování dat, které je potřebné pro vyhodnocení jejich správnosti a spolehlivosti a také informace o základních vlastnostech polypropylenu jako materiálu, ze kterého byly vyrobeny příze jednoduché a následně dvojmo skané příze použité v experimentální části práce. Druhá část této diplomové práce je částí teoretickou, a obsahuje myšlenkový postup uvažování o tažnosti dvojmo skané příze, díky kterému bylo možno odvodit teoretické modely tažnosti dvojmo skané příze.

V poslední, experimentální části, jsou uvedeny výsledky měření průměrů dvojmo skaných polypropylenových přízí a také stanovení hodnot skacích zákrutů na metr. Tyto parametry následně slouží pro výpočty modelových hodnot. Experimentální část také obsahuje postup tvorby vlastních dvojmo skaných přízí. Následně jsou zde uvedeny také výsledky experimentálních hodnot tažností dvojmo skaných polypropylenových přízí, které sloužily pro porovnání s modelovými hodnotami tažností. Závěrem je provedeno párové porovnání mezi hodnotami experimentálními a hodnotami získanými pomocí modelových vztahů pro tažnosti dvojmo skaných přízí.

1. Rešeršní část

Tato kapitola obsahuje vysvětlení pojmu příze a jejích základních charakteristik, jako jsou jemnost, zákrut a zákrutový koeficient. Dále jsou zde zmíněny základní principy skaní a charakteristiky dvojmo skané příze související se zjišťováním její tažnosti. V této části práce jsou zmíněny všeobecně známé poznatky o tažnosti dvojmo skané příze a jejím zjišťování pomocí výpočtů a pomocí přístroje Instron 4411. Jsou zde také zmíněny základní informace o statistickém zpracování experimentálních dat, která byla následně použita v experimentální části této práce.

1.1 Pojem příze

Příze je délková textilie ze spradatelných vláken zpevněná zákrutem. Při jejím napínání dochází k přetržení vláken [2].

Přízi lze charakterizovat souborem určitých vlastností. Jedná se zejména o vlastnosti, jako jsou jemnost, zákrut, pevnost, tažnost, vzhled a hmotná nestejnomyšnost [3].

1.1.1 Jemnost příze

Jemnost příze vyjadřuje vztah mezi hmotností příze m a její délkou l . Jemnost se běžně vyjadřuje pomocí jednotek tex, nebo jejich násobcích (ktex) a podílech (dtex, mtex) [2, 3].

$$T = \frac{m}{l} \quad (1)$$

T jemnost příze [tex]
 m hmotnost jednoduché příze [g]
 l délka jednoduché příze [km]

1.1.2 Jemnost skané příze

Jemnost skané příze lze vyjádřit pomocí jemnosti jednoduché příze a příslušného seskání. Vychází se z jemnosti druzené příze.

$$T_D = \sum_{i=1}^n T_j \quad (2) [3]$$

T_D jemnost družené příze [tex]

T_j jemnost jednoduché příze [tex]

n počet jednoduchých přízí [-]

U skaných přízí je také nutno počítat se seskáním. Pod pojmem seskání se rozumí zkrácení délky nitě při jejím zakrucování. Zkracuje-li se délka nitě, roste její hmotnost na jednotku délky. Pro případ, kdy jemnosti jednoduchých přízí jsou stejné, platí:

$$T_1 = T_2 = \dots = T \quad (3) [3]$$

T jemnost příze [tex]

Seskání je definováno vztahem:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} * 10^2 = \frac{l - l_0}{l_0} * 10^2 [\%] \quad (4) [3]$$

δ seskání [%]

Δl změna původní délky příze [mm]

l_0 délka vzorku příze před rozkroucením [mm]

l délka vzorku příze po rozkroucení [mm]

Následně vztah pro jemnost skané příze.

$$T_s = T_D * \frac{100}{100 - \delta} \quad (5) [3]$$

T_s jemnost skané příze [tex]

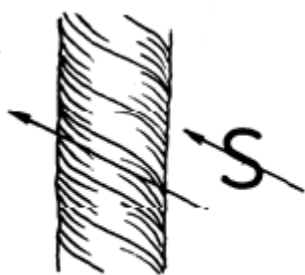
T_D jemnost družené příze [tex]

δ seskání [%]

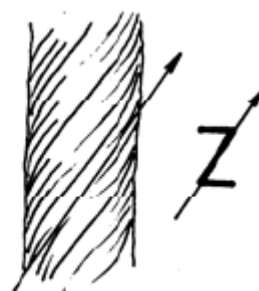
1.2 Zákrut příze

Pomocí zakrucování přízí se zvyšuje počet kontaktů vláken ve svazku. Tím vzniká tření mezi vlákny, což znamená zvýšení pevnosti příze.

Zákrut vyjadřuje počet otáček, které vloží zakrucovací orgán (vřeteno, křídlo, rotor, atd.) do paralelizovaného vlákenného svazku na jeho určitou délku. Většinou se zákruty počítají na 1 m. Následkem zakrucování dochází ke změně původní délky (seskání). Podle směru zakrucování se rozlišuje zákrut pravý (Z) a levý (S)[4]. Následující obrázky 1a) a 1b) znázorňují oba směry zákrutů.



Obr. 1a) Levý zákrut [4]



Obr. 1b) Pravý zákrut [4]

1.2.1 Zákrutový koeficient

Při zkoumání stoupání šroubovice při stejném počtu zákrutů u přízí o stejné jemnosti lze zjistit, že stoupání šroubovice je vždy stejné. Toto zjištění vyjadřuje zákrutový koeficient α . Vychází se z předpokladu, že výška jednoho ovinu vlákna v ideální niti je výškou šroubovice [4].

Existují dva vztahy pro výpočet zákrutů:

Köechlinův vztah – tento vztah vyhovuje pro jemnost přízí $T > 10 \text{ tex}$

$$Z = \frac{\alpha}{\sqrt{T}} [m^{-1}] \quad \rightarrow \quad \alpha = ZT^{1/2} \quad (6) [4]$$

Z zákrut $[1/m]$

α zákrutový koeficient podle Köechlina $[m^{-1} \cdot \text{tex}^{1/2}]$

T jemnost příze $[\text{tex}]$

Phrixův vztah – tento vztah vyhovuje pro jemnost přízí $T < 10 \text{ tex}$

$$Z = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{T^2}} [m^{-1}] \quad \rightarrow \quad \alpha = ZT^{2/3} \quad (7) [4]$$

Z zákrut $[1/m]$

α zákrutový koeficient podle Phrixe $[m^{-1} \cdot \text{tex}^{2/3}]$

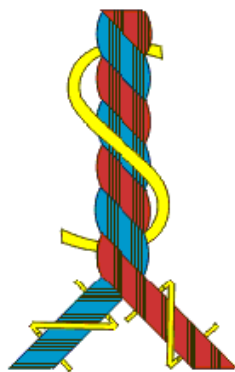
T jemnost příze $[\text{tex}]$

1.3 Skaní

Skaní je proces, díky kterému se získávají lepší vlastnosti přízí. Těmito vlastnostmi se rozumí např. vyšší pevnost, zvýšená tažnost, snížená hmotná nestejnomyšnost, odolnost v oděru. Skací zákrut dále výrazně ovlivňuje vzhled a omak výsledné skané příze.

Jedná se tedy o spojování dvou nebo více přízí pomocí zákrutu. Udělují se buď zákruty ve směru S, nebo Z. Obvykle se volí skací zákrut opačného směru v porovnání se zákrutem přádním (viz obr. 2). Při takovémto typu skaní je nutné počítat s určitou ztrátou zákrutů v jednoduchých přízích.

Podle počtu jednoduchých přízí se pro tyto skané příze používá názvů dvojmo skaná příze, trojmo skaná příze, atd. Je možno také hovořit o vícestupňovém skaní, což prakticky znamená, že v prvním stupni skaní se nejprve z jednoduchých přízí tvoří příze skaná a v dalším stupni se skají tyto skané příze dohromady [5]. Na obrázku č. 2 je znázorněn klasický příklad dvojmo skané příze, která se skládá ze dvou jednoduchých přízí skaných pravým zákrutem a posléze spojených zákrutem opačným, tedy levým.



Obr. 2 Dvojmo skaná příze s přádním zákrutem
pravým a skacím zákrutem levým [6]

1.4 Charakteristické rozměry dvojmo skané příze

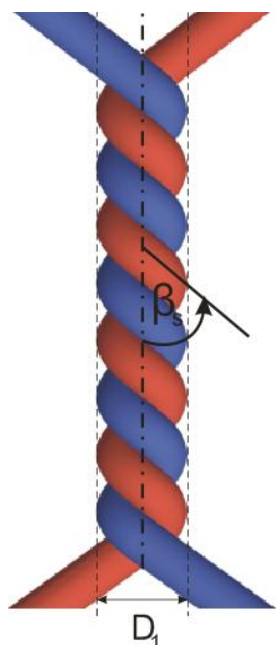
Dvojmo skaná příze je pravidelný útvar se svými charakteristickými specifiky. Pro zjednodušení je možno představit si tvar těla této příze jako válec o průměru D_I . Obrázek č. 3 nabízí zjednodušený pohled na model dvojmo skané příze. Je zde znázorněn již zmíněný průměr D_I , dále je zde naznačena osa dvojmo skané příze a úhel β_s , což je úhel, který svírá osa jednoduché příze s osou dvojmo skané příze. Tento úhel se vypočítá pomocí vztahu (8) a také podle vztahu (11) na následující str. č. 8, jelikož mezi $\tan \beta_s$ a $\cos \beta_s$ existuje relace. Na obrázku č. 4 je pak znázorněn půdorys modelu této dvojmo skané příze, kde je opět naznačen průměr D_I . Rozměr $D_I/2$ označuje vzdálenost os jednoduchých přízí v přízi dvojmo skané (poloměr) a rozměr $D_I/4$ značí vzdálenost mezi osou jednoduché příze a osou příze dvojmo skané [7].

$$\tan \beta_s = \frac{\pi^{D_I/2}}{\frac{1}{Z_s}} = \pi^{D_I/2} Z_s \quad (8) [7]$$

β_s úhel, který svírá osa jednoduché příze s osou dvojmo skané příze [°]

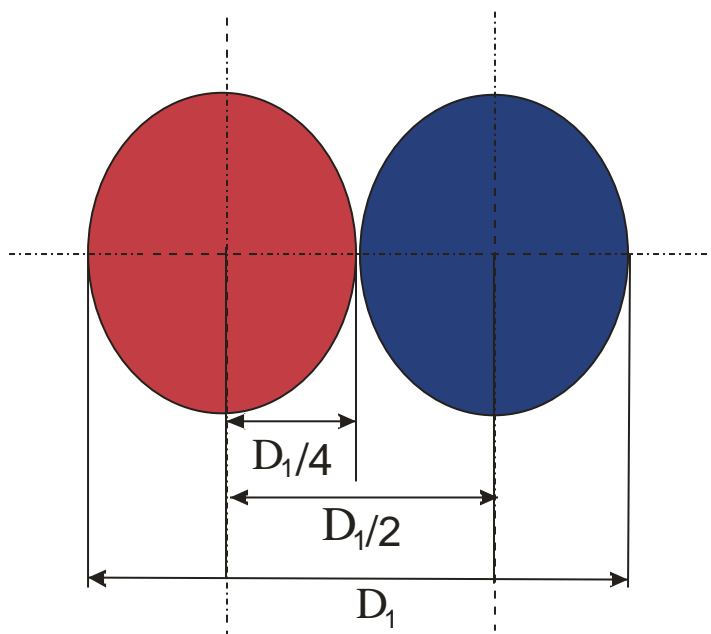
D_I průměr dvojmo skané příze [m]

Z_s skací zákrut [1/m]



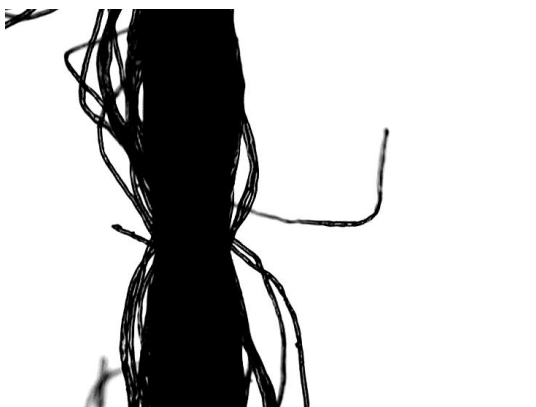
Obr. 3

Modelový obrázek dvojmo skané příze s vyznačeným rozměrem D_1 a úhlem β_s



Obr. 4 Půdorys modelu dvojmo skané příze

Průměr D_1 se určuje pomocí [8]¹. Tato norma stanovuje postup pro měření geometrických parametrů dvojmo skané příze s použitím software obrazové analýzy (např. NIS Elements). Pomocí vyhodnocovacího programu v prostředí MatLab se zjišťují datové a grafické výstupy ze získaných obrazů (podélných pohledů) [8]. Obr. č. 5 znázorňuje příklad podélného mikroskopického pohledu na dvojmo skanou přízi.



Obr. 5 Podélný pohled dvojmo skané příze získaný v prostředí NIS Elements, 100% PP 2x20 tex

¹ Tuto interní normu vypracovala Ing. Bc. Monika Vyšanská, Phd., 29. 8. 2007.

Pomocí těchto poznatků lze z údajů o tažnosti jednoduché příze a zákonitosti šroubovicového modelu příze stanovit vztah pro tažnost dvojmo skané příze [7].

1.5 Tažnost dvojmo skané příze

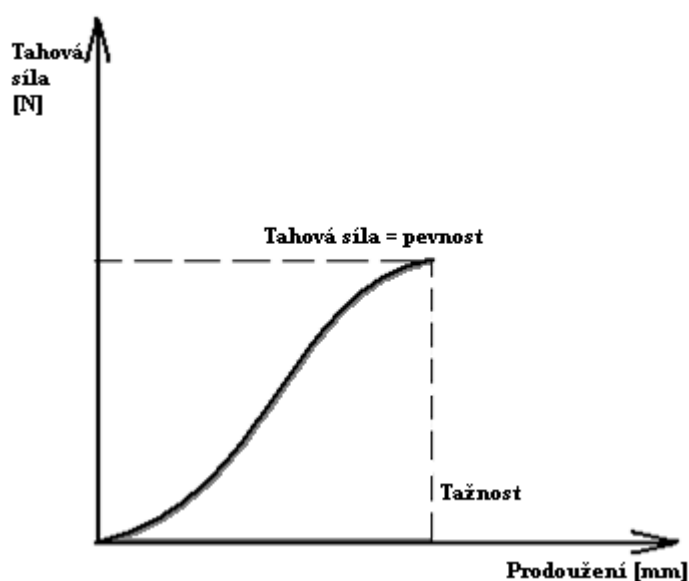
Tažnost vyjadřuje celkové poměrné prodloužení příze při přetrhu. Toto prodloužení lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\varepsilon_s = \frac{l-l_0}{l_0} * 100 [\%] \quad (9) [3]$$

ε_s tažnost dvojmo skané příze [%]

l délka vzorku příze v okamžiku přetržení [mm]

l_0 délka vzorku příze mezi upínacími čelistmi v okamžiku upnutí [mm]



Obr. 6 Pracovní křivka při tahovém namáhání příze

Tažnost se zjišťuje pomocí trhacích zkoušek na trhacích přístrojích, viz kap. 1.7.

Obr. 6 znázorňuje pracovní křivku namáhání příze do okamžiku jejího přetrhu. Při zjišťování tažnosti dvojmo skané příze lze vycházet z tažnosti příslušné jednoduché příze a ze znalosti počtu skacích zákrutů na metr. Podle [5] se tažnost dvojmo skané příze získá ze vztahu:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_j}{\cos^2 \beta_s} [\%] \quad (10)[5], \text{ kde } \cos \beta_s = \frac{1}{\sqrt{1 + (\pi D_1 / 2 Z_s)^2}} \quad (11)$$

ε_s tažnost dvojmo skané příze [%]

ε_j tažnost jednoduché příze [%]

β_s úhel, který svírá osa jednoduché příze s osou dvojmo skané příze [°]

D_1 průměr dvojmo skané příze [m]

Z_s skací zákrut [1/m]

V experimentální části bude zjišťována spolehlivost tohoto vztahu společně s dalšími možnostmi modelů tažnosti dvojmo skané příze odvozovanými ve druhé části této práce v porovnání s experimentálními hodnotami tažností dvojmo skaných polypropylenových přízí.

1.6 Polypropylen (PP)

Měřené příze jsou vyrobeny ze stoprocentního polypropylenu. Tento materiál patří do skupiny vláken chemických, vyrobených ze syntetického polymeru. Používá se v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu. Vláknem se zvláknuje z předem připraveného polymeru z taveniny kruhovými tryskami do šachty. Vláknem jsou převážně kruhového průřezu, nesorpční, obtížně barvitelná [9].

1.6.1 Vlastnosti PP vláken

Pevnost PP se pohybuje v intervalu mezi 1,5 – 6 [cN/dtex] a tažnost je 15 – 60 % [10].

Tabulka č. 1 **Výhody a nevýhody PP vláken** [10]

Výhody	Nevýhody
Odolnost vůči oděru	Nízké (pomalé) zotavení
Trvanlivost	Nízká navlhavost
Nízká měrná hmotnost	Nízká tepelná odolnost (tepelná sráživost)
Snadná formovatelnost	Nepříjemný omak (voskový)
Nízká úroveň elektrostatického náboje	Malá tuhost
Dobré elektroizolační vlastnosti	Nízká barvitelnost
Voskový omak	

1.7 Dynamometr INSTRON 4411

Přístroj INSTRON 4411 je určen ke zjišťování mechanických vlastností délkových i plošných textilií. Lze realizovat jednoosé namáhání tahem, tlakem a ohybem. Na obrázku č. 7 je zachycen přístroj, který byl použit při experimentálním měření [11].



Obr. 7 Přístroj Instron 4411

1.7.1 Parametry přístroje INSTRON 4411

- „+/-10V neohraničený analogový výstup signálu pro sílu a deformace, pokud jsou příslušné kanály připojeny
- číslíkový řídicí systém pohonu příčnicku s možností měnit rychlost
- integrovanou číslíkovou regulační smyčku řídicí elektroniky a sběru dat
- display dat - až tři kanály mohou zobrazovat měřené hodnoty v reálném čase
- volitelný systém jednotek - SI, metrické, dle US zvyklostí (dle výběru uživatele)
- měřící kanály protažení a síly (jeden, další může být přidán)
- zpětný rychloposuv 600mm/min se zabudovanou zpomalovací funkcí pro přesné polohování příčnicku
- rozsah rychlosti příčnicku 0,5 mm/min až 500 mm/min
- přesné, předepjaté kuličkové šrouby pro vedení pohonu příčnicku
- maximální dráha příčnicku 1067mm
- šířka pracovního prostoru 250mm
- max. zatížení 5kN (500kg) [11]“

1.8 Zjišťování tažnosti přízí podle ČSN EN ISO 2062

Podle ČSN EN ISO 2062 bylo prováděno získávání experimentálních dat pro tuto práci. Norma obsahuje čtyři metody možností měření textilních nití odebraných z návinů. Pro toto měření byla vybrána metoda A, což je metoda ruční, kde se zkušební vzorky odebírají přímo z klimatizovaných návinů [12].

Při aplikaci této normy je třeba stanovit určité definice:

„Tržná síla – maximální síla působící na vzorek při zkoušce tahem, při které dojde k přetrhu. U nití se převážně vyjadřuje v centinewtonech [12].“

„Prodloužení při přetrhu – přírůstek délky vzorku vyvolaný tržnou silou. Vyjadřuje se v procentech původní jmenovité délky [12].“

„Poměrná pevnost při přetrhu – poměr tržné síly nitě k její délkové hmotnosti. Obvykle se vyjadřuje v centinewtonech na tex [12].“

„Trhací přístroj s konstantním přírůstkem prodloužení – zkušební přístroj, u kterého je jeden konec zkušební vzorku upevněn v nepohyblivé svorce a druhý konec je uchycen ve svorce, která je tažena konstantní rychlostí. Je opatřen vhodným systémem pro měření a záznam aplikované síly a pro měření a záznam prodloužení [12].“

„Svorka – součást trhacího přístroje sloužící k upnutí zkušební vzorku pomocí vhodných čelistí [12].“

„Upínací délka – délka zkušební vzorku měřená za předpětí mezi místy upnutí ve svorkách. U speciálních (ovíjecích a okrouhlých) svorek je to vzdálenost mezi body upnutí měřená podél délky nitě [12].“

„Návin – délka niti ve tvaru vhodném pro používání, obchodování, skladování apod. Návin mohou být s dutinkami (např. kuželové cívky) nebo bez dutinek (např. přadena, klubka) [12].“

1.9 Statistické zpracování experimentálních dat

Statistické zpracování experimentálních dat je důležité při ověřování předpokladů o naměřených datech, jako je normalita, homogenita nebo nezávislost dat. Jednou z možností, jak tyto předpoklady ověřit je použití interaktivního statistického systému pro analýzu dat QC EXPERT, který byl v této diplomové práci pro jejich ověření použit.

1.9.1 Nezávislost dat

Vzájemná nezávislost dat je základním předpokladem pro kvalitní měření. Důvody závislosti dat:

- nestabilita měřicího zařízení, nebo změna stavu měřicího zařízení
- nekonstantnost podmínek měření
- zanedbání faktorů, které významně ovlivňují výsledek měření, jako je objem vzorků, teplota, nečistota chemikálií
- nesprávný, nenáhodný výběr vzorků k měření

Závislost dat je nežádoucím jevem, proto se při vzniku této situace doporučuje měření zopakovat [13].

1.9.2 Normalita

Na normalitě výběrového rozdělení je založena celá klasická analýza dat, testování vybočujících měření a testy nezávislosti prvků výběru [13].

1.9.3 Homogenita

K nehomogenitě naměřených dat dochází při výskytu vybočujících měření v souboru naměřených dat. Může být způsobena také nevhodnou specifikací souboru. Nehomogenní data zkreslují odhady průměru a rozptylu, takže zcela znehodnocují další statistickou analýzu. V případě zjištění nehomogenních dat v souboru je nutné tato data odstranit a znovu provést tento test, aby mohla být homogenita přijata [13].

Pro výpočty byl použit statistický modul Základní statistika programu QC EXPERT. Jedná se o základní analýzu statistických vlastností. Konkrétně je možno vypočítat popisné statistiky, intervaly spolehlivosti, robustní odhady střední hodnoty a rozptylu. Dále program provede t-test shody, test normality, nezávislosti a homogenity [14].

1.9.4 Párové porovnání

Pomocí párového porovnání lze analyzovat jeden a týž soubor dat, kde např. první soubor představuje experimentální data a druhý soubor obsahuje data příslušných vypočítaných modelů. Tím se získají dvojice proměnných x , y . [15].

Pro korelační koeficient platí:

- „Nabývá hodnot od -1 do $+1$, které značí perfektní lineární vztah (záporný nebo kladný).
 - V případě kladné korelace hodnoty obou proměnných zároveň stoupají.
 - V případě záporné korelace hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá.
 - V případě neexistence lineárního vztahu $R = 0$.
- Je nezávislý na jednotkách původních proměnných, je bezrozměrný.
- Při změně pořadí proměnných se výše korelačního koeficientu nemění.
- Korelační koeficient je platný pouze v rozmezí daném použitými daty.

Korelační koeficient výrazně odlišný od nuly není důkazem funkčního vztahu proměnných [16].“

2. Teoretická část

Cílem teoretické části této práce je odvodit vhodný matematický model tažnosti dvojmo skané polypropylenové příze. Výchozí myšlenkou při odvozování vztahů pro teoretické modely tažnosti byly vztahy popsané v [18] – Namáhání vlákna multiaxiální textilie, které byly modifikovány pro potřeby dvojmo skané příze.

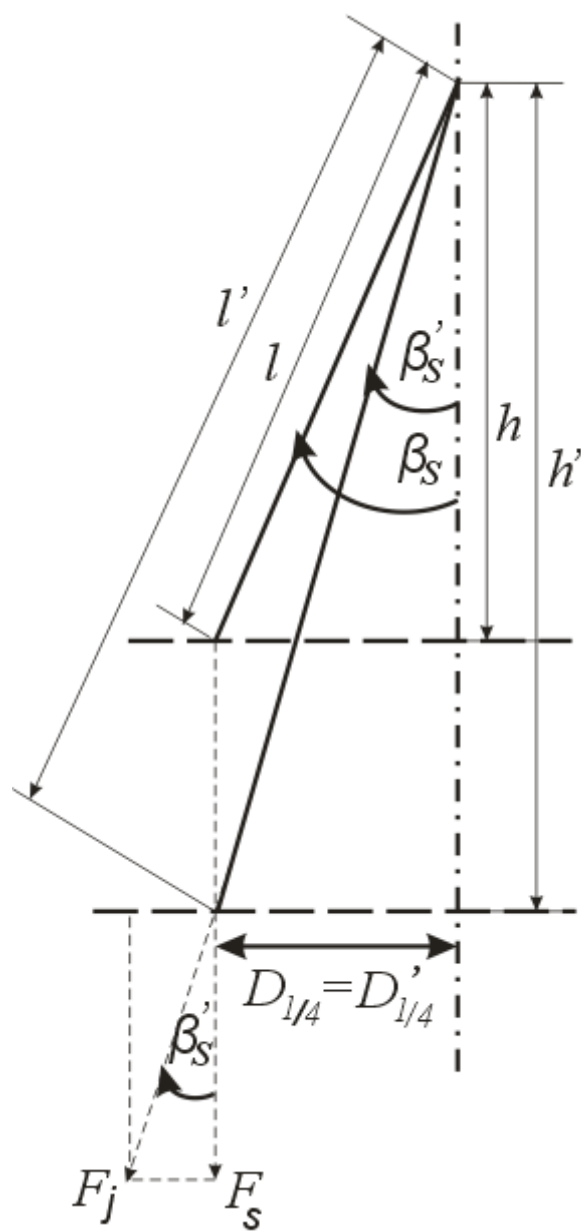
2.1 Odvození vztahů pro teoretické modely tažnosti dvojmo skané příze

Příze, která je skaná ze dvou jednoduchých přízí má vůči těmto přízím vyšší tažnost, ale také platí, že se zvyšující se jemností skané i jednoduché příze tažnost klesá.

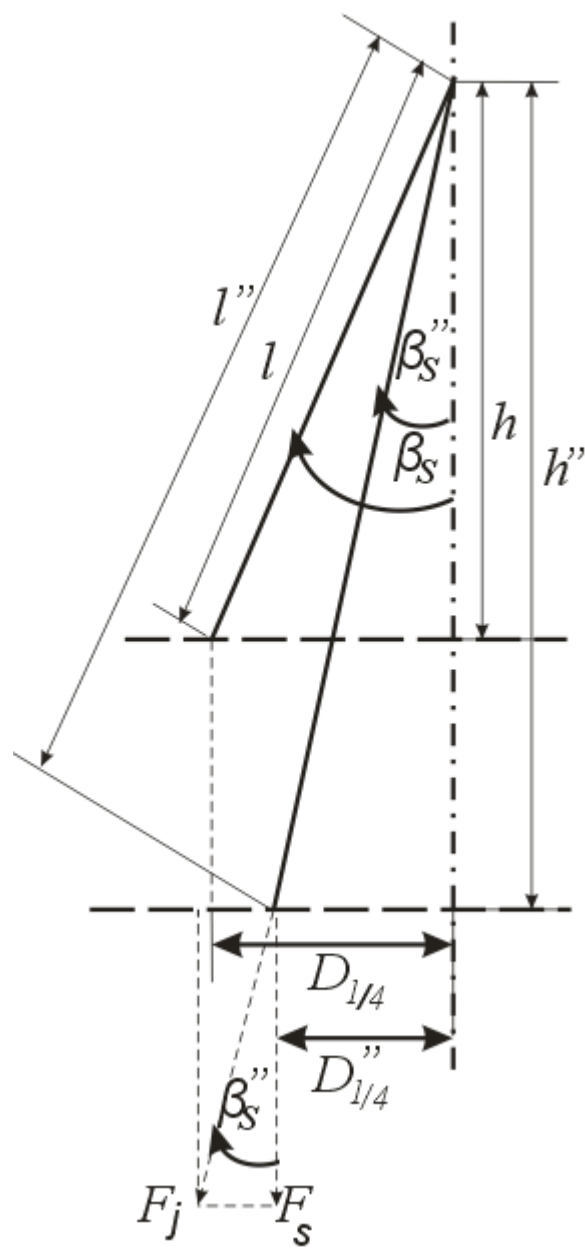
Je známo, že při namáhání dvojmo skané příze se parametry této příze v průběhu tohoto procesu mění. To znamená, že v okamžiku přetržení příze se její rozměry liší od rozměrů původních. Tyto změny je možno zachytit pomocí matematických vztahů.

Obrázek č. 8 naznačuje schéma průběhu namáhání dvojmo skané příze. Je zde zachycen konkrétně úsek jedné poloviny ovinu dvojmo skané příze, kde dochází ke změně původní délky z l na l' během namáhání, kdy je tato příze upnuta v čelistech dynamometru. Výchozí upínací délka jedné poloviny tohoto ovinu je označována jako h a délka v okamžiku přetržení dvojmo skané příze je h' . Na schématu jsou dále znázorněny síly, které působí na dvojmo skanou přízi a způsobují její poměrné prodloužení. Ve směru osy dvojmo skané příze působí síla F_s , která je dále rozložena na sílu F_j , jež působí ve směru osy jednoduché příze. Tento model naznačuje možnost, kdy se během působení těchto sil na přízi mění úhel sklonu osy jednoduché příze k ose dvojmo skané příze z β_s na úhel β_s' při zachování rozměru $D_{1/4}$, resp. $D_{1/4} = D'_{1/4}$ (viz též kap. 1.4).

Obrázek č. 9 následně ukazuje možnost, že během namáhání dochází jak ke změnám, které byly naznačeny na předešlém schématu (obr. 8), tak ke změně/zmenšení průměru namáhané příze z $D_{1/4}$ na $D''_{1/4}$, resp. $D_{1/4} > D''_{1/4}$.



Obr. 8 Schéma namáhání dvojmo skané příže bez uvažování kontrakce průměru



Obr. 9 Schéma namáhání dvojmo skané příze s uvažováním kontrakce průměru

2.1.1 Odvození matematického modelu tažnosti dvojmo skané příze bez uvažování kontrakce průměru

Tento model vychází z předpokladu, že průměr příze dvojmo skané se během jejího namáhání nemění, viz obr. 8. Podle tohoto obrázku platí, že $D_{1/4} = D_1'/4$.

Mění se tedy pouze úhel β_s (úhel, který svírá osa jednoduché příze s osou dvojmo skané příze), viz vztahy (8) a (11) na str. 6 a 9. Vyjádření tohoto úhlu je zachyceno vztahem (12) a následně také změna tohoto úhlu způsobená vlivem namáhání je vyjádřena pomocí vztahu (13).

$$\cos\beta_s = \frac{h}{l} \quad (12) \quad \cos\beta_s' = \frac{h'}{l'} \quad (13)$$

Pro popis změn délek se zavede poměrné prodloužení příze skané ε_s a jednoduché ε_j :

$$\varepsilon_s = \frac{h' - h}{h} = \frac{h'}{h} - 1 \Rightarrow h' = h(1 + \varepsilon_s) \quad (14)$$

$$\varepsilon_j = \frac{l' - l}{l} = \frac{l'}{l} - 1 \Rightarrow l' = l(1 + \varepsilon_j) \quad (15)$$

Dosazením vztahů (14) a (15) do (12) a (13) vznikne vztah:

$$\cos\beta_s' = \frac{h'}{l'} = \frac{h(1 + \varepsilon_s)}{l(1 + \varepsilon_j)} = \cos\beta_s \frac{(1 + \varepsilon_s)}{(1 + \varepsilon_j)} \quad (16)$$

Jestliže podle Pythagorovy věty platí, že

$$\left(D_{1/4}\right)^2 = l^2 - h^2 \quad (17), \text{ tak } \left(D_1'/4\right)^2 = l'^2 - h'^2 \quad (18)$$

Při převedení vztahů (17) a (18) do rovnosti vznikne

$$l^2 - h^2 = l'^2 - h'^2 \quad (19)$$

Při znalosti vztahů (12), (13), (14) a (15) se vztah (19) převede na vztah (20) a následným odvozováním vznikne vztah, jehož pomocí lze vyjádřit tažnost dvojmo skané příze bez uvažování kontrakce průměru, viz vztah (21).

$$l^2 - h^2 = l^2(1 + \varepsilon_j)^2 - h^2(1 + \varepsilon_s)^2 \quad (20)$$

$$1 - \frac{h^2}{l^2} = \frac{l^2(1 + \varepsilon_j)^2}{l^2} - \frac{h^2(1 + \varepsilon_s)^2}{l^2}$$

$$1 - \cos^2 \beta_s = (1 + \varepsilon_j)^2 - \cos^2 \beta_s (1 + \varepsilon_s)^2$$

$$1 - \cos^2 \beta_s + \cos^2 \beta_s (1 + \varepsilon_s)^2 = (1 + \varepsilon_j)^2$$

$$\varepsilon_j = \sqrt{1 + \cos^2 \beta_s (2\varepsilon_s + \varepsilon_s^2)} - 1$$

$$\varepsilon_s = \sqrt{1 + \frac{2\varepsilon_j + \varepsilon_j^2}{\cos^2 \beta_s}} - 1 \quad (21)$$

Při velmi malé hodnotě ε_s je možné zjednodušit vztah (21) a tím vznikne zjednodušený model tažnosti dvojmo skané příze bez kontrakce (10), který je uváděn v [5], viz str. 9 v řešeršní části této práce.

Vezme-li se v úvahu, že

$$2\varepsilon_s + \varepsilon_s^2 \cong 2\varepsilon_s$$

a

$$\sqrt{1 + 2\varepsilon_s \cos^2 \beta_s} \cong 1 + \varepsilon_s \cos^2 \beta_s$$

pak

$$\begin{aligned} \varepsilon_j &= \sqrt{1 + \cos^2 \beta_s (2\varepsilon_s + \varepsilon_s^2)} - 1 \cong \sqrt{1 + 2\varepsilon_s \cos^2 \beta_s} \cong \\ &\cong (1 + \varepsilon_s \cos^2 \beta_s) - 1 = \varepsilon_s \cos^2 \beta_s \end{aligned}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_j}{\cos^2 \beta_s} [\%] \quad (10) [5]$$

2.1.2 Odvození matematického modelu tažnosti dvojmo skané příze při uvažování kontrakce průměru

Při podrobnějším uvažování nad změnami rozměrů dvojmo skané příze lze uvažovat o možnosti změny/zmenšení průměru této příze. Tato situace je naznačena na obr. 9 na straně 16. Podle tohoto obrázku tedy platí, že $D_{1/4} > D''_{1/4}$, což lze vyjádřit použitím koeficientu k jako $D_{1/4} = k * D''_{1/4}$.

Jelikož není známo, jak přesně se hodnota průměru změní, použije se pro toto vyjádření koeficient k , kde $k > 1$ (popř. $\frac{1}{k} \in (0; 1)$), $D_{1/4} = \frac{D''_{1/4}}{k}$.

Pro další uvažování se použije stejný myšlenkový postup jako v předchozí kapitole 2.1.1, s tím rozdílem, že se vezme v úvahu koeficient k (viz obr. 9). Následující vztahy budou tedy vypadat takto:

Vyjádření změny úhlu β_s , ze vztahu (12) na vztah (22).

$$\cos \beta_s = \frac{h}{l} \quad (12) \quad \cos \beta_s'' = \frac{h''}{l''} \quad (22)$$

Pro popis změn délek se zavede poměrné prodloužení příze skané ε_s a jednoduché ε_j :

$$\varepsilon_s = \frac{h'' - h}{h} = \frac{h''}{h} - 1 \Rightarrow h'' = h(1 + \varepsilon_s) \quad (23)$$

$$\varepsilon_j = \frac{l'' - l}{l} = \frac{l''}{l} - 1 \Rightarrow l'' = l(1 + \varepsilon_j) \quad (24)$$

Jestliže podle Pythagorovy věty platí, že

$$\left(D_{1/4}\right)^2 = l^2 - h^2 \quad (17), \text{ tak } \left(D''_{1/4}\right)^2 = k^2(l''^2 - h''^2) \quad (25)$$

$$l^2 - h^2 = k^2(l''^2 - h''^2) \quad (26)$$

Při znalosti vztahů (12), (22), (23) a (24) se vztah (26) převede na vztah (27) a následným odvozováním vznikne vztah (28), jehož pomocí lze vyjádřit tažnost dvojmo skané příze při uvažování kontrakce průměru.

$$l^2 - h^2 = k^2 \left[l^2 (1 + \varepsilon_j)^2 - h^2 (1 + \varepsilon_s)^2 \right] \quad (27)$$

$$1 - \frac{h^2}{l^2} = k^2 \left[(1 + \varepsilon_j)^2 - \frac{h^2}{l^2} (1 + \varepsilon_s)^2 \right]$$

$$1 - \cos^2 \beta_s = k^2 \left[(1 + \varepsilon_j)^2 - \cos^2 \beta_s (1 + \varepsilon_s)^2 \right]$$

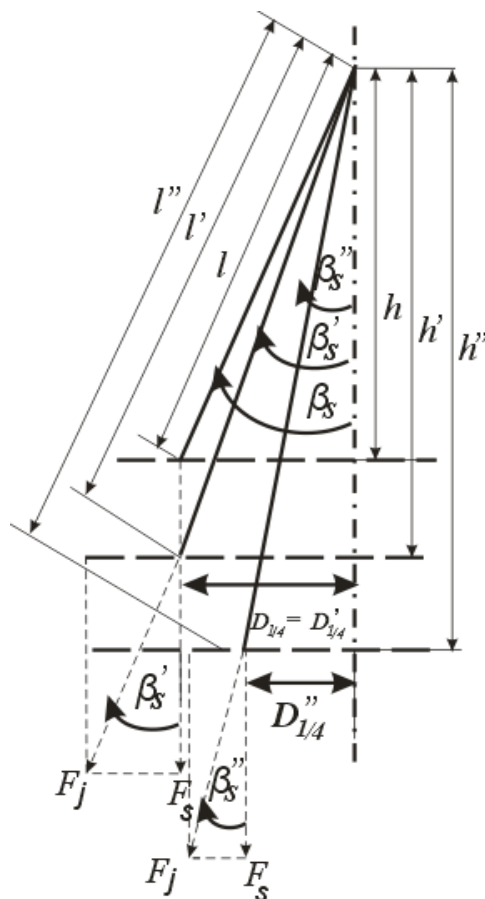
$$\varepsilon_s = \frac{1}{k \cos \beta_s} \sqrt{k^2 (1 + \varepsilon_j)^2 - \sin^2 \beta_s} - 1 \quad [-] \quad k > 1 \quad \left(\frac{1}{k} \in (0; 1) \right) \quad (28)$$

2.1.3 Shrnutí výsledných vztahů

Z předchozích odvození vyplývá, že vznikly tři teoretické modely pro výpočet tažnosti dvojmo skané příze. Následující tabulka č. 2 obsahuje odvozené modely tažnosti dvojmo skané příze, které budou v následující části sloužit pro porovnání s experimentálními daty. Na obr. 10 je souhrnné schéma zachycující možnosti chování dvojmo skané příze při jejím namáhání.

Tabulka č. 2 **Odvozené modely tažností pro dvojmo skané příze**

Název	Vztah
Zjednodušený model tažnosti bez uvažování kontrakce průměru	$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_j}{\cos^2 \beta_s} \quad (10)[5]$
Model tažnosti bez uvažování kontrakce průměru	$\varepsilon_{s2} = \sqrt{1 + \frac{2\varepsilon_j + \varepsilon_j^2}{\cos^2 \beta_s}} - 1 \quad (21)$
Model tažnosti při uvažování vzniku kontrakce průměru	$\varepsilon_{s3} = \frac{1}{k \cos \beta_s} \sqrt{k^2 (1 + \varepsilon_j)^2 - \sin^2 \beta_s} - 1 \quad (28)$



Obr. 10 Shrnutí schémat z obrázků č. 8 a 9

3. Experimentální část

Experimentální část práce obsahuje nejprve popis zkoušených přízí, dále postup tvorby vlastních dvojmo skaných přízí. Jsou zde shrnuta všechna experimentální data, která jsou potřebná při výpočtech teoretických modelů tažnosti dvojmo skané polypropylenové příze. Následně jsou zde uvedena všechna experimentální data týkající se tažností dvojmo skaných PP přízí, která jsou rozdělena podle jejich jemností a počtů skacích zákrutů. Závěr této části se zabývá porovnáním experimentálních dat s daty vypočítanými podle modelů odvozených ve druhé části práce a následným výběrem nejvhodnějšího modelu.

3.1 Měřené příze

Experimentální měření bylo prováděno na přízích Trevon vyrobených firmou Spolsin, spol. s r.o. ze 100% PP o různých jemnostech při různých skacích zákrutech. Přádní zákrut je pravý (Z) a skací zákrut je ve směru opačném, tedy levý (S). Přehled těchto přízí je obsažen v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3 Přehled jednoduchých přízí pro vytvoření přízí dvojmo skaných

100% PP Trevon 2,2 [dtex]/50 [mm]	T_j jmenovitá [tex]	Z_j jmenovitá [1/m]
	20	720
	25	620
	29,5	560
	35,5	475
	45	410

U těchto jednoduchých přízí (viz tabulka č. 3) byly následně zjištěny jejich tažnosti na dynamometru Instron. Dále z nich byly vytvořeny experimentálně vyrobené dvojmo skané příze, na kterých byly také zjišťovány jejich tažnosti. Tvorba experimentálně vyrobených dvojmo skaných přízí bude podrobněji popsána v následující kapitole 3.2.

Postup při měření tažností přízí jednoduchých i dvojmo skaných:

Před samotným měřením byly cívky s příslušnými přízemi umístěny v klimatizační komoře pro předklimatizaci podle [12]. Průběh samotného měření probíhal podle [12] viz kap. 1.8 na dynamometru Instron, viz též kap. 1.7, za klimatizačních podmínek

23,1°C a 62% vlhkosti vzduchu. Měřená příze se umístila mezi čelisti do svorek. Svorky musí zabránit prokluzu příze. Upínací délka byla nastavena na 500 mm ± 2 mm a předpětí 0,5 cN/tex. Provádělo se minimálně 50 měření od každého souboru přízí. Tento postup měření tažností přízí platí jak pro jednoduché, tak pro dvojmo skané příze podle [12].

3.2 Tvorba experimentálně vyrobených dvojmo skaných přízí

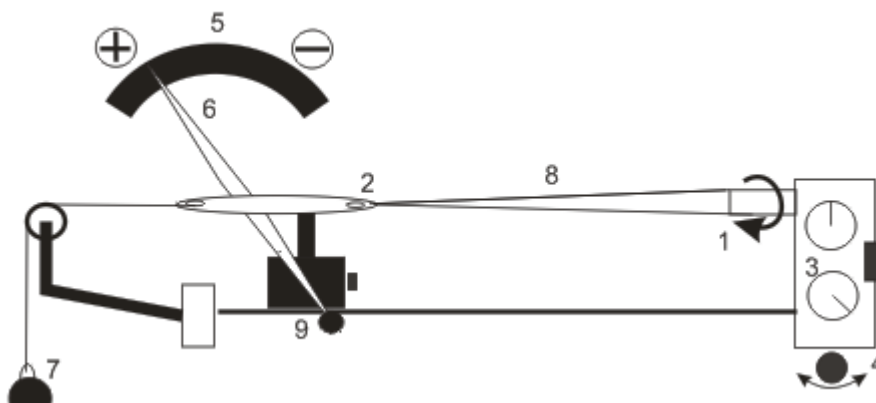
Při měření experimentálních dat byla nejprve rozšířena škála dvojmo skaných přízí (viz tab. 4) i mimo stupnici klasicky strojově vyráběných dvojmo skaných přízí, aby bylo možno lépe porovnat funkčnost teoretických modelů tažností. V tabulce č. 4 jsou seřazeny příze podle jejich jemností a počtu zákrutů. Pro odlišení jsou příze s původními skacími zákruty oproti nově vytvořeným přízím s novými hodnotami skacích zákrutů vyznačeny šedou barvou. Zákruty jsou uvedeny ve jmenovitých hodnotách. Proškrtnuté buňky v této tabulce znamenají, že vzhledem k počtu zákrutů a jemnosti přízí nebylo možno tyto dvojmo skané příze vyrobit, jelikož jejich značné zkrácení již nebylo možné zjistit pomocí stupnice změn délky zakrucované příze (viz obr. č. 11 na str. 24).

Tabulka č. 4 Přehled přízí podle jemnosti a podle počtu zákrutů

Jednoduchá příze, 100% PP	T_j [tex]/ Z_j [1/m]	T_s [tex]	Z_s jmenovitá [1/m]									
2,2 [dtex]/50 [mm], barva šedá	20/720	2x20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	25/620	2x25										
	29,5/560	2x29,5										
	35,5/475	2x35,5										
	45/410	2x45										

3.2.1 Postup tvorby experimentálně vyrobených dvojmo skaných přízí

Při tvorbě vlastních dvojmo skaných přízí byl zvolen postup stejný jako při zjišťování počtu zákrutů pomocí zákrutoměru, pouze v opačném pořadí. Při tvorbě skacích zákrutů se vychází z předpokladů, že při zakrucování dochází ke změně původní délky zakrucované příze a stoupání šroubovice na povrchu příze je při stejných počtech zákrutů a různých jemnostech přízí stále stejné [4].



Obr. 11 Schéma zákrutoměru upraveného pro tvorbu dvojmo skaných přízí

1 – otočná čelist, 2 – očko na provléknutí jednoduché příze, 3 – ukazatel počtu zákrutů, 4 – regulátor rychlosti zakrucování, 5 – stupnice změn délky zakrucované příze, 6 – ukazatel změny délky příze, 7 – předpětí, 8 – navléknutá jednoduchá příze připravená k zakrucování, 9 – posuvné rameno k nastavení výchozí délky příze

Nejprve je nutno vypočítat předpětí. To znamená, že ještě před skaním je nutno přízi zatížit závažím tak, aby byla napnuta vždy stejně bez ohledu na hodnotu její jemnosti. Podle normy [17] je pro skané příze předpětí 5 mN/tex. Podle konkrétní jemnosti příze v jednotkách tex se pak přepočte hodnota předpětí, které se následně dosadí do vztahu (29) za hodnotu síly F . Získaná hodnota m představuje hmotnost závaží v gramech, kterým se příze před zakrucováním zatíží, jak je naznačeno na obr. č. 11 pod číslem 7.

$$F * T = m * g \Rightarrow m = \frac{F * T}{g} \quad (29)$$

T jemnost [tex]

F síla [mN]

m hmotnost jednoduché příze [g]

g tíhové zrychlení ($9,81 \approx 10$) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Poté se podle obr. č. 11 příslušná jednoduchá příze navede do očka na provléknutí jednoduché příze a upevní se v otočné čelisti. Takto vznikne útvar dvou

jednoduchých přízí vedle sebe připravených ke skaní. Jelikož upínací délka pro jednoduchou přízi je nastavena na délku 700 mm a následně se vlivem zakrucování dále mění, je nutno přepočítat vzniklé oviny na délku 1000 mm, resp. 1 m, viz vztah. (30).

Přepočet zákrutů:

$$Z_s = \frac{o}{l_s} \quad (30)$$

Z_s skací zákrut [1/m]

o počet ovinů [-]

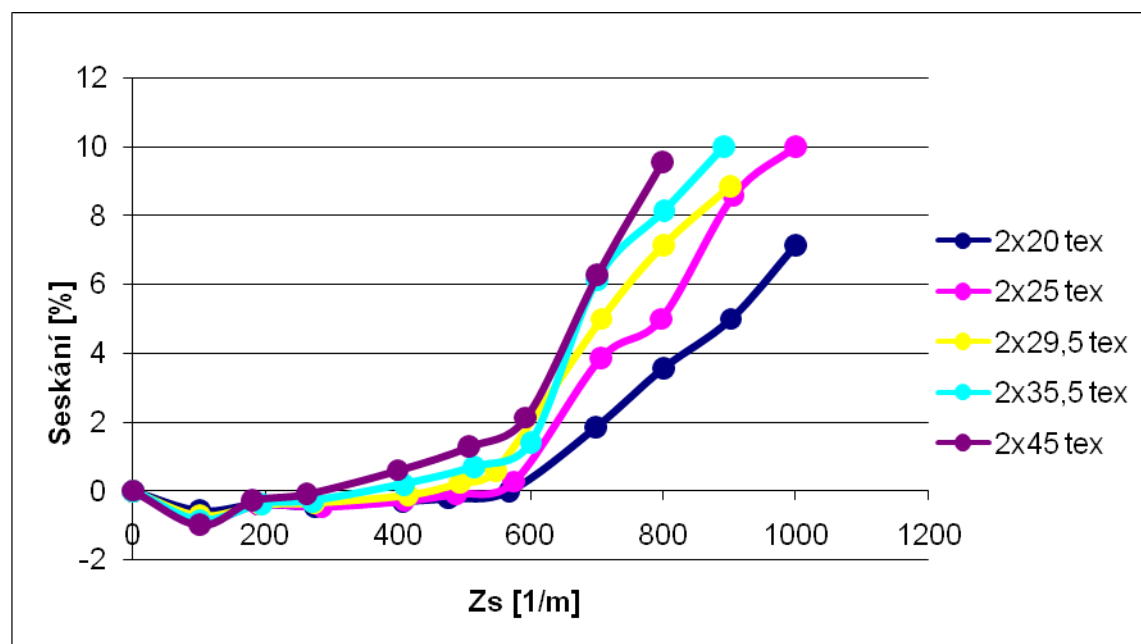
l_s konečná délka skané příze po vložení počtu ovinů o [m]

3.3 Změna délky při tvorbě dvojmo skaných přízí

Při seskání dochází, jak již bylo řečeno v kap. 3.2.1 na str. 23, ke změně původní délky příze. Následující tabulka č. 5 ukazuje chování této délky v průběhu skaní. Hodnoty, které se nacházejí v šedých buňkách tabulky, byly získány z původních dvojmo skaných přízí. Tyto hodnoty byly zjišťovány podle [17] a hodnoty, které jsou v buňkách bílých, byly získány při tvorbě vlastních dvojmo skaných přízí, viz postup uvedený v kap. 3.2.1 na str. 23 a 24. Seskání přízí bylo počítáno podle vztahu (4) na str. 3. Na obr. 12 je graf znázorňující seskání v % na ose y a na ose x jsou pak hodnoty skacích zákrutů. Je vidět, jak se příze nejprve prodlužuje a teprve až po překročení určitého počtu zákrutů se příze začne zkracovat, což naznačuje strmé stoupání křivek v druhé části grafu. Tento jev závisí jak na jemnosti příze, tak na počtu skacích zákrutů. Při hodnotě kolem 100 zákrutů na metr se může příze prodloužit až o 7 mm, následně se ale začne její délka vracet na délku původní. Této délky dosáhne průměrně při hodnotách 300 až 600 skacích zákrutů na metr, přičemž toto závisí na konkrétních jemnostech přízí. Platí, že čím je příze hrubší, tím je její finální zkrácení větší a tím je také větší tažnost dvojmo skané příze.

Tabulka č. 5 Změny délky příze při procesu skaní

T_s [tex]	Z_s [1/m]	Δl [mm]	δ [%]	T_s [tex]	Z_s [1/m]	Δl [mm]	δ [%]
2x20	100,8523	-4,00	-0,57	2x25	100,5666	-6	-0,86
	188,4800	-2,62	-0,37		189,76	-2,74	-0,39
	274,4000	-3,10	-0,44		285,44	-3,14	-0,45
	407,2000	-2,06	-0,29		409,28	-1,96	-0,28
	475,5200	-1,46	-0,21		487,84	-0,46	-0,07
	567,6800	-0,02	0,00		574,56	1,94	0,28
	698,6900	13,00	1,86		705,7949	27	3,86
	800,0000	25,00	3,57		796,9925	35	5,00
	902,2556	35,00	5,00		906,25	60	8,57
	1000,0000	50,00	7,14		1000	70	10,00
2x29,5	100,7092	-5	-0,71	2x35,5	100,5666	-6	-0,86
	192,8	-2,72	-0,39		194,56	-2,66	-0,38
	273,6	-2,36	-0,34		271,2	-2,02	-0,29
	415,04	-0,78	-0,11		408,8	1,38	0,20
	493,28	1,68	0,24		514,56	4,9	0,70
	547,04	4,2	0,60		600	9,82	1,40
	706,7669	35	5,00		700,1522	43	6,14
	800	50	7,14		800,9331	57	8,14
	901,2539	62	8,86		891,1353	70	10,00
2x45	100,4243	-7	-1,00	2x45	100,4243	-7	-1,00
	180,48	-2,04	-0,29		180,48	-2,04	-0,29
	262,88	-0,64	-0,09		262,88	-0,64	-0,09
	400,32	4,16	0,59		400,32	4,16	0,59
	507,52	8,9412	1,28		507,52	8,9412	1,28
	592,64	14,86	2,12		592,64	14,86	2,12
	701,2195	44	6,29		701,2195	44	6,29
	800	67	9,57		800	67	9,57



Obr. 12 Graf seskání jednotlivých přízí při určitém počtu skacích zákrutů

3.4 Zákrut dvojmo skaných přízí

Jako orientační hodnoty pro počet zákrutů na metr byly zvoleny jmenovité hodnoty skacích zákrutů 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 a 1000. Pro samotné výpočty však bylo nutno zjistit skutečnou hodnotu zákrutů pro každou jemnost.

Tabulka č. 6 **Přehled hodnot průměrných zákrutů použitých při výpočtech pro modely tažností dvojmo skaných přízí**

$\frac{Z_s}{T_j}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
20	100,8523	188,4800	274,4000	407,2000	475,5200	567,6800	698,6900	800,0000	902,2556	1000,0000
25	100,5666	189,7600	285,4400	409,2800	487,8400	574,5600	705,7949	796,9925	906,2500	1000,0000
29,5	100,7092	192,8000	273,6000	415,0400	493,2800	547,0400	706,7669	800,0000	901,2539	
35,5	100,5666	194,5600	271,2000	408,8000	514,5600	600,0000	700,1522	800,9331	891,1353	
45	100,4243	180,4800	262,8800	400,3200	507,5200	592,6400	701,2195	800,0000		

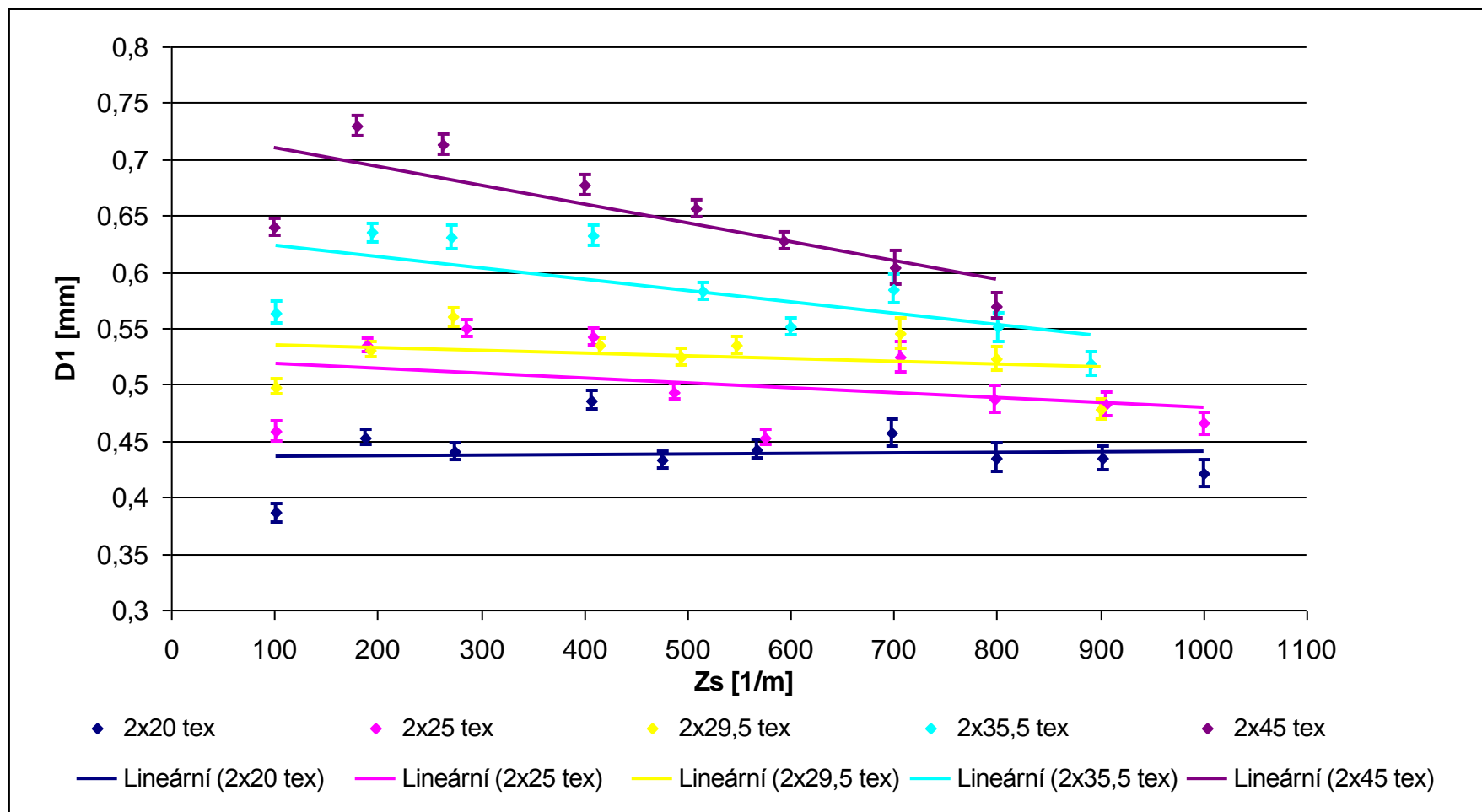
Buňky označené šedou barvou v tabulce č. 6 ukazují průměrné hodnoty skacích zákrutů vypočítané z již existujících přízí. Průměrná hodnota byla vypočítána z 25 vzorků měřených pomocí zákrutoměru (viz obr. 11 na str. 23). Měření probíhalo podle [17]. Dvojmo skaná příze se upevní mezi čelisti zákrutoměru, na kterém je nastaveno předpětí vypočítané pomocí vztahu (29). Pak probíhá rozkrucování až do chvíle, kdy se dosáhne úplného rozkrucení dvojmo skané příze, až vzniknou dvě jednoduché příze vedle sebe. Na otáčkoměru se pak zjistí počet otáček, který je potřeba k úplnému rozkrucení dvojmo skané příze. Podle zásady – jedna otáčka = jeden zákrut – znamená počet otáček počet zákrutů na jeden metr. V případě, že upínací délka na zákrutoměru není 1 m, je nutno po zjištění počtu otáček provést přepočet podle vztahu (30) na str. 25. Zákruty, které jsou v tabulce č. 6 v bílých buňkách, byly vypočítány přímo při výrobě vlastních dvojmo skaných přízí při samotném skaní.

3.5 Průměr dvojmo skané příze

Při zjišťování modelových hodnot tažností dvojmo skaných přízí je nejprve nutné zjistit průměry těchto přízí (viz kap. 1.4 na str. 6 a 7). V následující tabulce č. 7 jsou uvedeny průměry dvojmo skaných přízí zjištěné pomocí měření v programu Nis Elements a následně vypočítané pomocí programu MatLab.

Tabulka č. 7 Průměry dvojmo skaných PP přízí

Jemnost [tex]	Z _s [1/m]	D ₁ [mm]	IS		Jemnost [tex]	Z _s [1/m]	D ₁ [mm]	IS	
			Spodní mez	Horní mez				Spodní mez	Horní mez
2x20	100,8523	0,3862	0,3777	0,3947	2x35,5	100,5666	0,5641	0,5544	0,5737
	188,4800	0,4531	0,4464	0,4597		194,5600	0,6348	0,6267	0,6430
	274,4000	0,4408	0,4336	0,4480		271,2000	0,6309	0,6203	0,6415
	407,2000	0,4859	0,4779	0,4940		408,8000	0,6323	0,6227	0,6418
	475,5200	0,4337	0,4262	0,4412		514,5600	0,5835	0,5761	0,5909
	567,6800	0,4428	0,4350	0,4507		600,0000	0,5509	0,5433	0,5585
	698,6900	0,4575	0,4452	0,4698		700,1522	0,5849	0,5725	0,5974
	800,0000	0,4351	0,4223	0,4479		800,9331	0,5512	0,5385	0,5639
	902,2556	0,4349	0,4245	0,4454		891,1353	0,5185	0,5082	0,5288
	1000,0000	0,4209	0,4090	0,4328					
2x25	100,5666	0,4584	0,4494	0,4674	2x45	100,4243	0,6399	0,6323	0,6474
	189,7600	0,5349	0,5287	0,5411		180,4800	0,7299	0,7207	0,7391
	285,4400	0,5501	0,5428	0,5574		262,8800	0,7134	0,7049	0,7219
	409,2800	0,5431	0,5356	0,5506		400,3200	0,6776	0,6686	0,6866
	487,8400	0,4938	0,4865	0,5010		507,5200	0,6562	0,6491	0,6633
	574,5600	0,4531	0,4462	0,4600		592,6400	0,6277	0,6203	0,6351
	705,7949	0,5248	0,5115	0,5381		701,2195	0,6040	0,5892	0,6187
	796,9925	0,4869	0,4746	0,4992		800,0000	0,5697	0,5586	0,5808
	906,2500	0,4826	0,4718	0,4934					
	1000,0000	0,4656	0,4554	0,4758					
2x29,5	100,7092	0,4979	0,5239	0,5377					
	192,8000	0,5308	0,5522	0,5674					
	273,6000	0,5598	0,5281	0,5409					
	415,0400	0,5345	0,5176	0,5326					
	493,2800	0,5251	0,5280	0,5419					
	547,0400	0,5350	0,5327	0,5586					
	706,7669	0,5457	0,5132	0,5327					
	800,0000	0,5230	0,4694	0,4873					
	901,2539	0,4784	0,5239	0,5377					



Obr. 13 Graf – Průměry dvojmo skaných přízí PP přízí v závislosti na počtu zákrutů

Na obr. 13 jsou graficky znázorněny jednotlivé skací zákruty, které jsou zaznamenány na ose x. Osa y pak představuje jednotlivé naměřené průměry dvojmo skaných přízí (D_I). Je jasné vidět, že jemnost ovlivňuje velikost průměru ve smyslu čím vyšší hodnota jemnosti, tím větší průměr. Souvisí to s tím, že příze s vyšší hodnotou jemnosti obsahují vyšší počet vláken v průřezu a tak jsou samozřejmě objemnější. Při velmi nízké hodnotě skacích zákrutů je D_I výrazně menší a následně se zvyšováním počtu skacích zákrutů se nejprve D_I zvětšuje a poté opět zmenšuje. Je to způsobeno tím, že jednoduchá příze se v počátku zakrucování nejprve rozkrucuje a následně dochází ke hromadění zákrutů, čímž se průměr začíná zvětšovat. Se zvyšujícím se počtem zákrutů se vlivem tlaku na přízi při zakrucování průměr opět zmenšuje. Pro lepší orientaci v grafu jsou zde zakresleny lineární spojnice trendu. Díky nim je dobře vidět také skutečnost, že čím je příze jemnější, tím se zmenšují rozdíly mezi jednotlivými průměry.

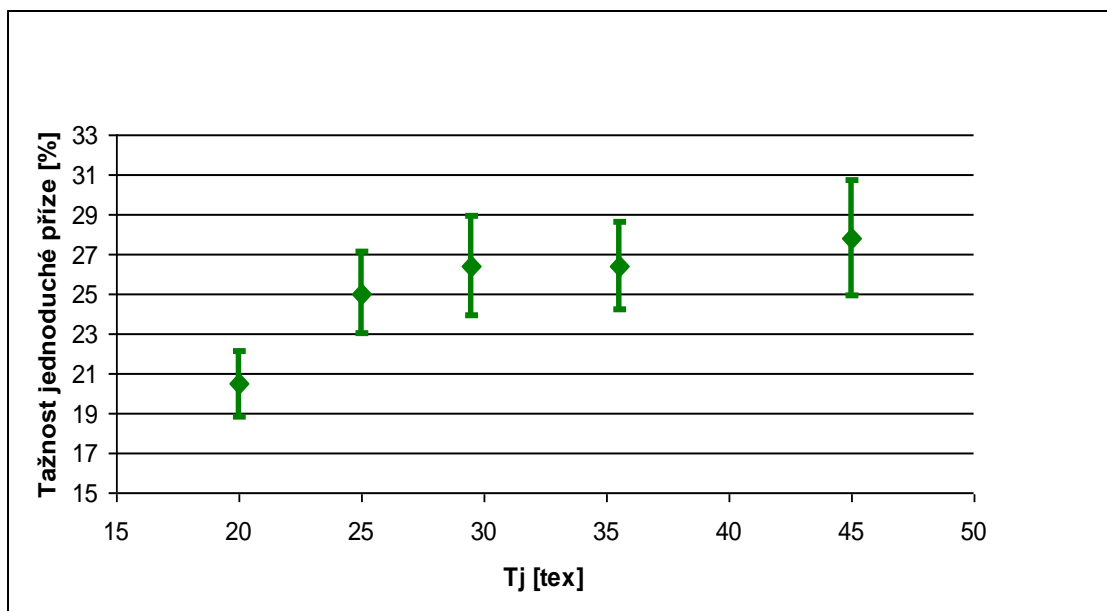
3.6 Experimentální hodnoty tažností jednoduchých PP přízí

Tabulka č. 8 obsahuje hodnoty jednotlivých průměrných tažností jednoduchých přízí příslušných jemností a intervaly spolehlivosti těchto tažností.

Tabulka č. 8 **Tažnosti jednoduchých přízí**

Jemnost jednoduché příze [tex]		20	25	29,5	35,5	45
Průměrná tažnost [%]		20,47	25,02	26,42	26,37	27,80
IS	Spodní mez	18,83	23,00	23,92	24,17	24,93
	Horní mez	22,12	27,05	28,92	28,58	30,66

Tažnosti byly vypočítány podle vztahu (9) na str. 7, kde za l_0 jako upínací délka byla dosazena hodnota 500 mm a za l – délku vzorku v okamžiku přetržení v mm byly dosazeny průměrné hodnoty vypočtené z padesáti trhů naměřených na dynamometru Instron podle [12].



Obr. 14 Graf tažností jednoduchých přízí v závislosti na jemnosti

Na obr. 14 je vidět, že tažnosti přízí se zvyšující se jemností rostou pouze nepatrně. Tažnost příze o jemnosti 35,5 tex má svoji průměrnou hodnotu dokonce nižší, než je průměrná hodnota tažnosti příze o jemnosti 29,5 tex. Při uvažování intervalů spolehlivosti je vidět, že do sebe zasahují a z toho vyplývá, že tažnosti jsou téměř shodné a tedy, že jemnost jednoduché příze tažnost této příze ovlivňuje pouze zanedbatelně. Jedinou výjimku tvoří průměrná hodnota tažnosti příze o jemnosti 20 tex, která je nižší oproti ostatním přízím.

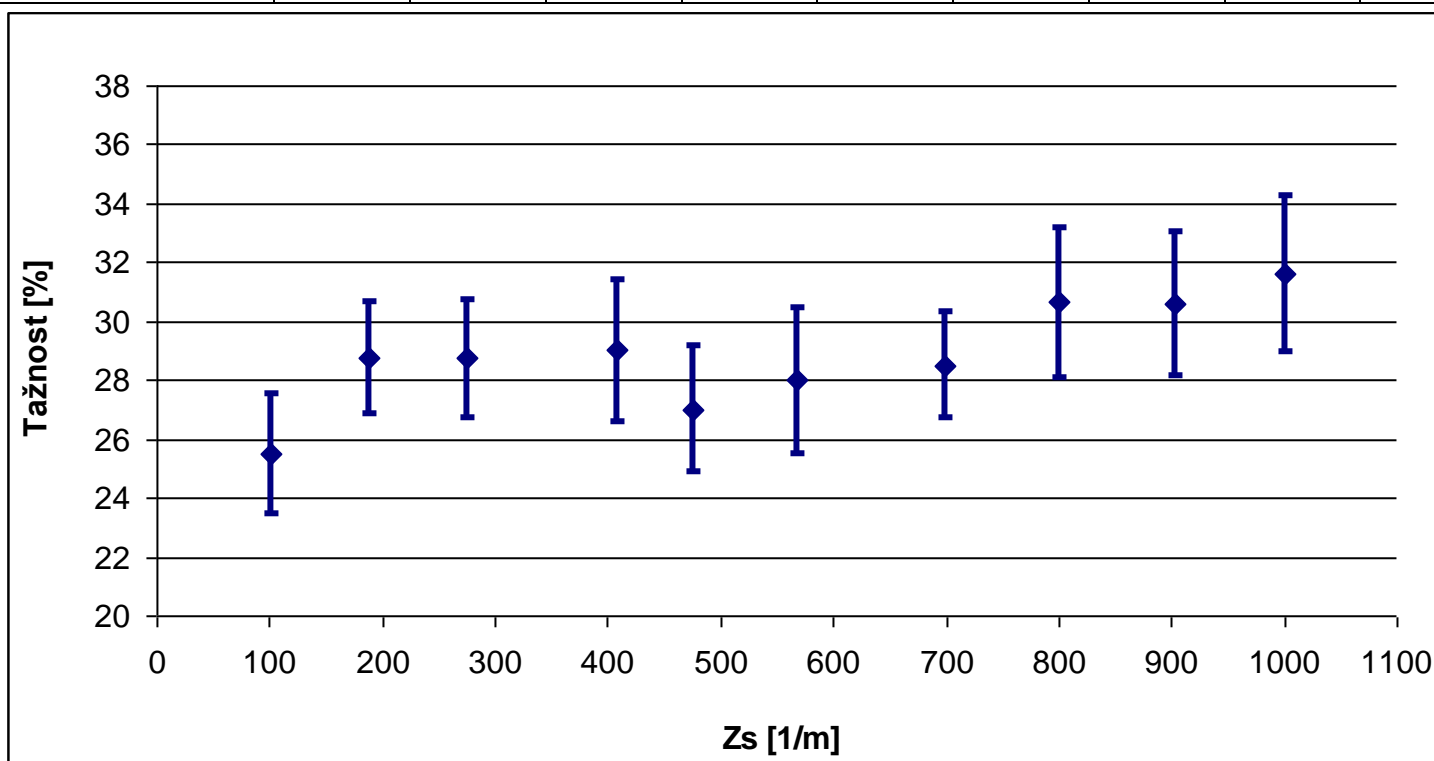
3.7 Experimentální hodnoty tažností dvojmo skaných PP přízí

Na přístroji Instron byly naměřeny hodnoty pro výpočet tažnosti (viz kap. 1.8). Každý vzorek příze byl podle [12] trhan padesátkrát. Na těchto datech byly provedeny testy nezávislosti dat, homogenity a normality pomocí programu QCExpert (viz kapitola 1.9). Vybočující data byla ze souboru odstraněna. Z naměřených a otestovaných dat byly vypočítány průměrné tažnosti dvojmo skaných přízí podle vztahu (9).

V následujících tabulkách a grafech jsou zaznamenány hodnoty experimentálních dat, které jsou přiřazeny ke konkrétním hodnotám skacích zákrutů, viz kap. 3.4, tabulka č. 6. Jsou zde zaznamenány průměrné hodnoty tažností dvojmo skaných přízí a intervalů spolehlivosti rozdělených podle jemností přízí a podle skacích zákrutů.

Tabulka č. 9 Tažnosti dvojmo skaných přízí 100% PP 2x20 tex

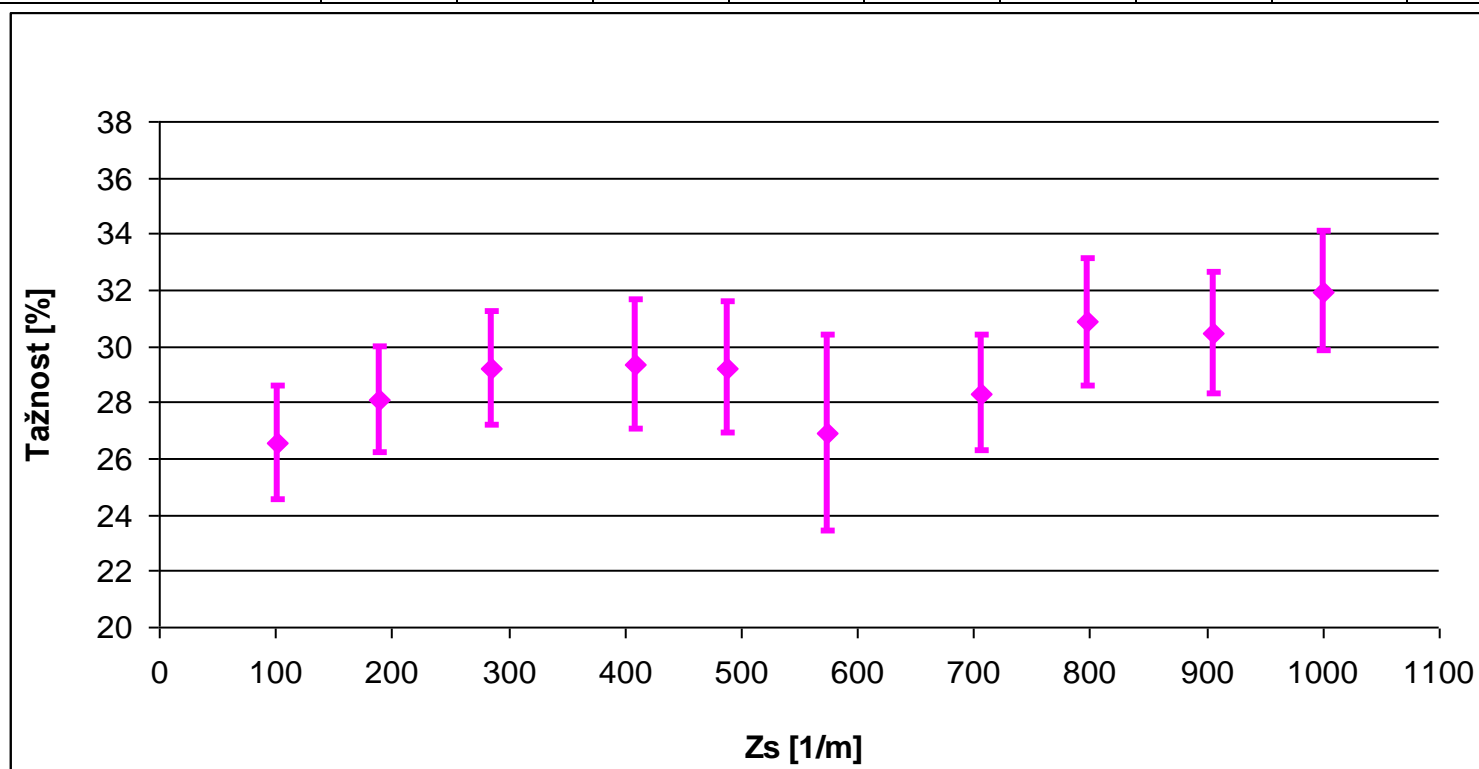
Jmenovitá hodnota Z_s [1/m]		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Skutečné Z_s [1/m]		100,85	188,48	274,40	407,20	475,52	567,68	698,69	800,00	902,26	1000,00
Tažnost [%]		25,52	28,75	28,73	29,02	27,03	28,01	28,52	30,63	30,58	31,60
IS	Spodní mez	23,48	26,83	26,73	26,62	24,89	25,53	26,70	28,11	28,13	28,93
	Horní mez	27,56	30,68	30,73	31,41	29,16	30,49	30,34	33,16	33,03	34,27



Obr. 15 Graf tažnosti PP příze 2x20 tex v závislosti na počtu skacích zákrutů

Tabulka č. 10 Tažnosti dvojmo skaných přízí 100% PP 2x25 tex

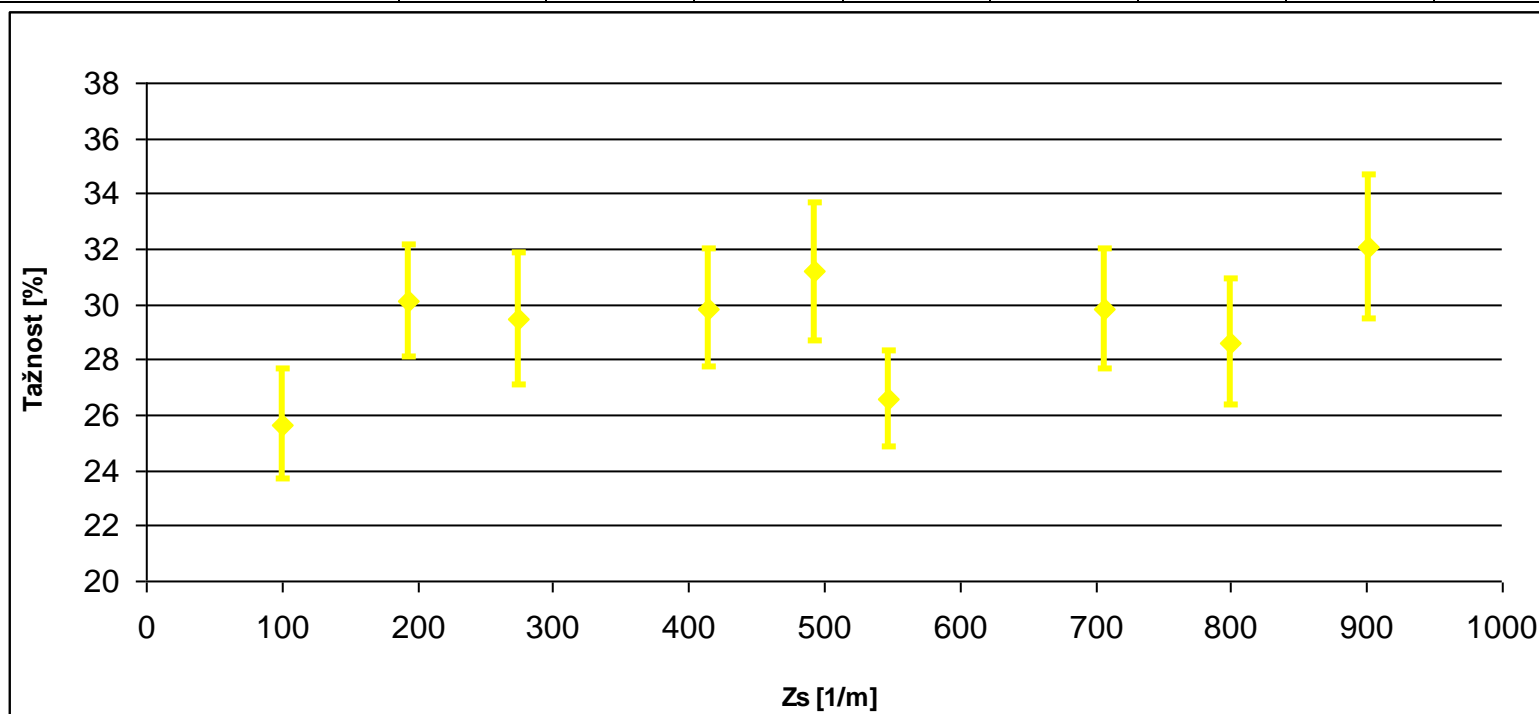
Jmenovitá hodnota Z_s [1/m]		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Skutečné Z_s [1/m]		100,57	189,76	285,44	409,28	487,84	574,56	705,80	796,99	906,25	1000,00
Tažnost [%]		26,57	28,11	29,22	29,34	29,24	26,93	28,33	30,86	30,46	31,95
IS	Spodní mez	24,57	26,23	27,20	27,04	26,92	23,44	26,29	28,57	28,30	29,84
	Horní mez	28,58	30,00	31,24	31,64	31,56	30,41	30,37	33,15	32,62	34,07



Obr. 16 Graf tažnosti PP příze 2x25 tex v závislosti na počtu skacích zákrutů

Tabulka č. 11 Tažnosti dvojmo skaných přízí 100% PP 2x29,5 tex

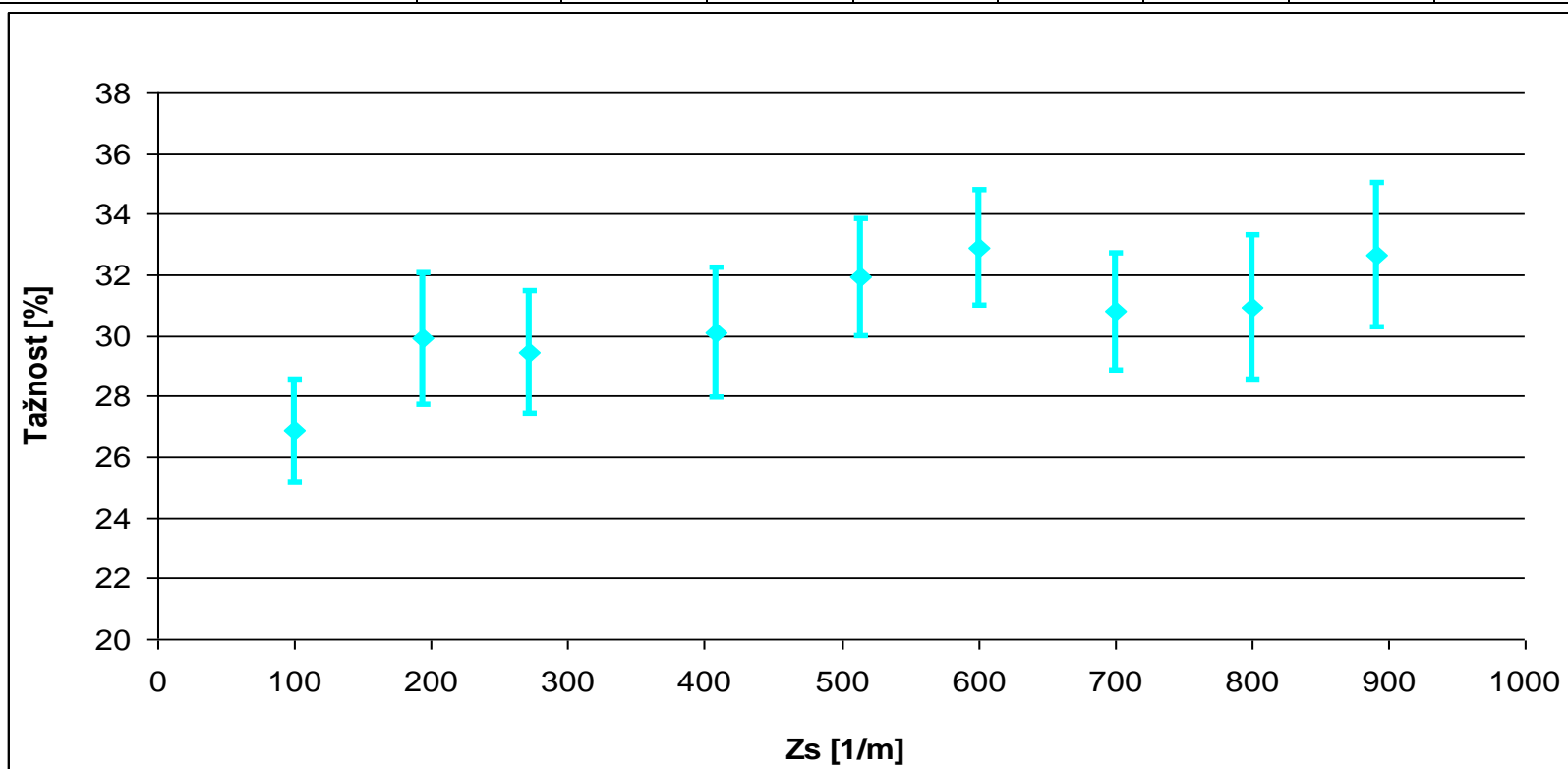
Jmenovitá hodnota Z_s [1/m]		100	200	300	400	500	600	700	800	900
Skutečné Z_s [1/m]		100,71	192,80	273,60	415,04	493,28	547,04	706,77	800,00	901,25
Tažnost [%]		25,67	30,13	29,46	29,84	31,18	26,56	29,82	28,62	32,08
IS	Spodní mez	23,70	28,10	27,06	27,70	28,69	24,82	27,66	26,33	29,46
	Horní mez	27,63	32,16	31,85	31,97	33,68	28,31	31,99	30,91	34,70



Obr. 17 Graf tažnost PP příze 2x29,5 tex v závislosti na počtu skacích zákrutů

Tabulka č. 12 Tažnosti dvojmo skaných přízí 100% PP 2x35,5 tex

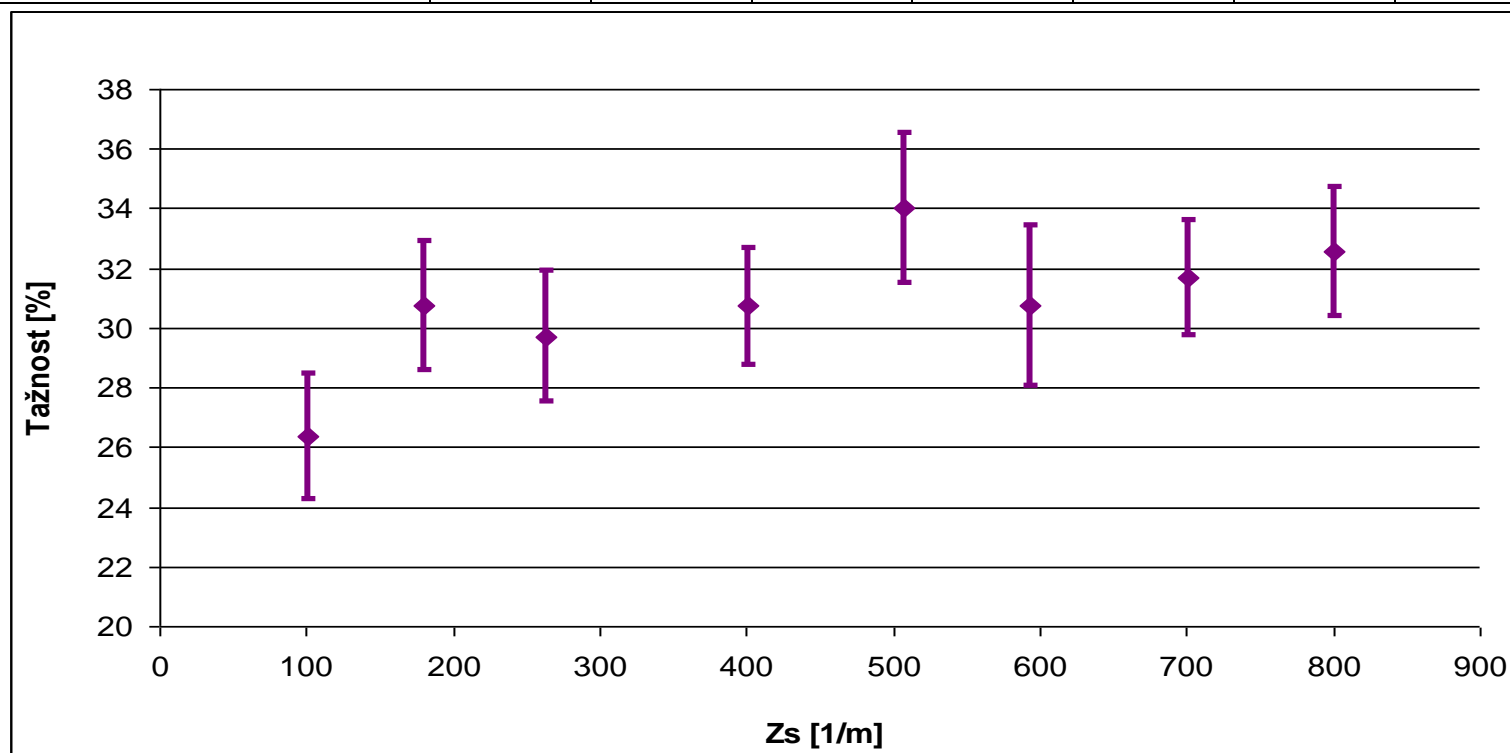
Jmenovitá hodnota Z_s [1/m]		100	200	300	400	500	600	700	800	900
Skutečné Z_s [1/m]		100,57	194,56	271,20	408,80	514,56	600,00	700,15	800,93	891,14
Tažnost [%]		26,86	29,89	29,46	30,09	31,92	32,91	30,81	30,96	32,64
IS	Spodní mez	25,15	27,72	27,45	27,97	30,01	31,02	28,88	28,58	30,27
	Horní mez	28,58	32,07	31,47	32,21	33,83	34,78	32,73	33,33	35,00



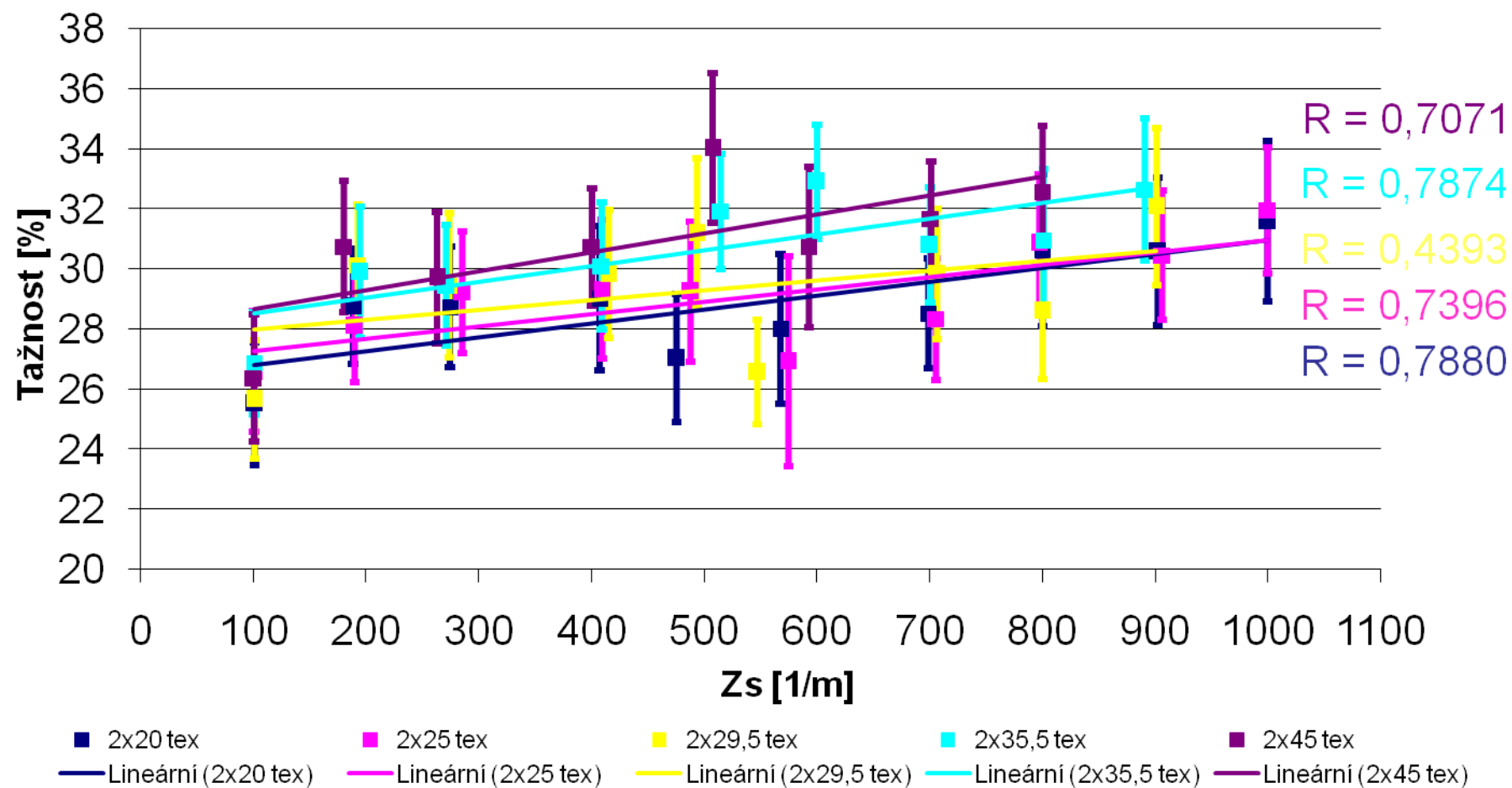
Obr. 18 Graf tažnosti PP příze 2x35,5 tex v závislosti na počtu skacích zákrutů

Tabulka č. 13 Tažnosti dvojmo skaných přízí 100% PP 2x45 tex

Jmenovitá hodnota Z_s [1/m]		100	200	300	400	500	600	700	800
Skutečné Z_s [1/m]		100,42	180,48	262,88	400,32	507,52	592,64	701,22	800,00
Tažnost [%]		26,36	30,75	29,72	30,74	34,02	30,74	31,67	32,57
IS	Spodní mez	24,25	28,56	27,53	28,79	31,53	28,07	29,74	30,38
	Horní mez	28,48	32,93	31,91	32,69	36,52	33,42	33,60	34,75



Obr. 19 Graf tažnosti PP příze 2x45 tex v závislosti na počtu skacích zákrutů



Obr. 20 Graf tažnosti přízí v závislosti na počtu zákrutů

Na obr. 15 – 19 je vidět, že všeobecný předpoklad o zvyšující se tažnosti v závislosti se zvyšujícími se zákruty na metr je pravdivý, ale během tohoto procesu je také vidět, že tažnosti kolísají. Tato kolísavost je zřejmě způsobena chováním jednoduché příze ve dvojmo skané přízi při procesu skaní. Je známo, že při skaní v opačném směru než je příadní zákrut, dochází k částečnému rozkroucení jednoduchých přízí. To způsobuje, že tažnost nejprve stoupá a následně lehce klesá v hodnotách kolem 500 – 700 Z/m. Poté se tažnost dvojmo skané příze opět zvyšuje. Zvyšování tažnosti je způsobeno nahromaděním zákrutů a seskáním, ke kterému při skaní dochází.

Na obr. 20 jsou znázorněny tažnosti PP přízí o jemnostech 20, 25, 29.5, 35.5 a 45 tex. Na tomto grafu je vidět, že všechny tažnosti se zvyšují v závislosti na počtu zákrutů. Při proložení jednotlivých tažností lineárními spojnicemi trendu lze zjistit fakt, že čím hrubší příze, tím je i její tažnost celkově vyšší. Větší rozdíly se vyskytují u hodnot 500 a 600 jmenovitých zákrutů na metr, kde je větší rozptyl mezi hodnotami a všechny intervaly spolehlivosti do sebe vzájemně nezasahují. U ostatních hodnot jsou tažnosti téměř stejné, a tudíž se dá říct, že jejich hodnoty nejsou statisticky významné.

Pomocí proložených lineárních spojnic trendu byly následně pro každou jemnost dopočítány hodnoty korelačních koeficientů. Byly zjištěny silné pozitivní závislosti mezi tažnostmi a skacími zákruty pro každou jemnost. Výjimku tvoří pouze příze o jemnosti 29,5 tex, jejíž závislost tažnosti na zákrutech je pouze slabá pozitivní. Tato skutečnost je vidět dobře na grafu na obr. 17, který zachycuje, jak tažnost této příze s nárůstem zákrutů kolísala více než u ostatních přízí.

3.8 Výpočty modelových hodnot

Následující tabulky a grafy ukazují srovnání naměřených tažností dvojmo skaných PP přízí různých jemností a vypočítaných modelových hodnot podle vztahů (10), (21) a (28) odvozovaných v teoretické části, viz kap. 2.1.3 na str. 21.

3.8.1 Modely tažnosti dvojmo skaných přízí

Následující kapitola obsahuje výsledky modelování tažnosti dvojmo skaných polypropylenových přízí pomocí vztahů (10), (21) a (28), viz kap. 2.1.3, tab. č. 2 na str. 21.

Vypočítané modelové hodnoty jsou zapsány v tabulkách č. 15 – 19 společně s příslušnými hodnotami experimentálními a jejich intervaly spolehlivosti. Pro lepší představu jsou následně tyto výsledky zakresleny do grafů na obr. 21 – 25. V hlavičkách tabulek č. 15 – 19 jsou tažnosti pojmenovány podle klíče, který byl popsán v tabulce č. 2 na str. 21. Hodnoty získané ze vztahů (10) a (21) jsou tedy označeny jako ε_{s1} a ε_{s2} . Jelikož koeficient k , potřebný pro výpočet vztahu (28) ještě nebyl stanoven, byly pro lepší představu pro každou jemnost dvojmo skané příze zvoleny dva tyto koeficienty. Přehled těchto koeficientů je zachycen v tabulce č. 14. Hodnota koeficientu k_1 se rovná číslu 1,01, a hodnota koeficientu k_2 se rovná číslu 1,5. Tyto koeficienty byly zvoleny tak, aby bylo možno pozorovat, jak velkou roli hraje hodnota koeficientu v konečném výsledku.

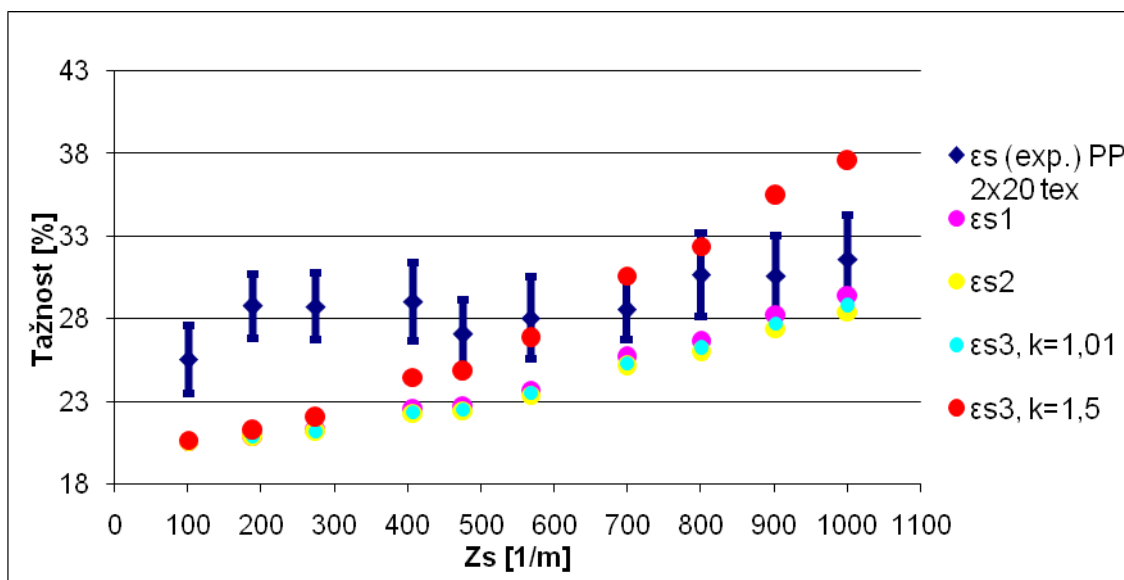
Tabulka č. 14 **Přehled zvolených koeficientů pro jednotlivé jemnosti**

T_s [tex]	k₁	k₂
2x20	1,01	1,5
2x25	1,01	1,5
2x29,5	1,01	1,5
2x35,5	1,01	1,5
2x45	1,01	1,5

Na obrázcích č. 21 – 25 jsou výsledné modelové hodnoty zakresleny do grafů společně s hodnotami experimentálními.

Tabulka č. 15 **Modely tažnosti dvojmo skané příze v porovnání s experimentální tažností pro PP 2x20 tex**

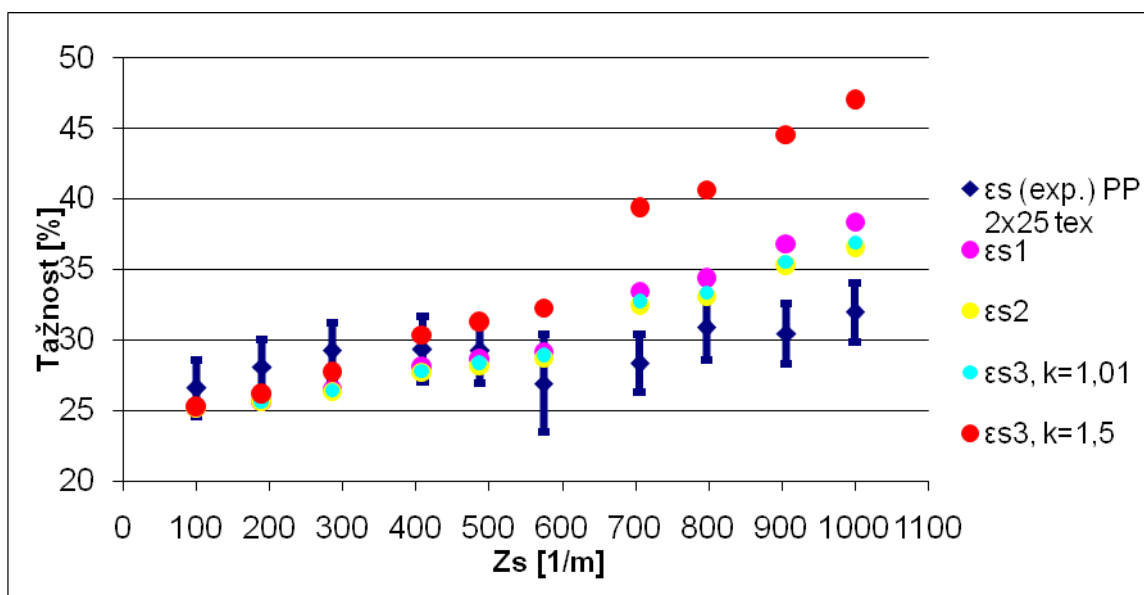
Z_s [1/m]	ϵ_s (experimentální) [%]	IS		ϵ_{s1} [%]	ϵ_{s2} [%]	ϵ_{s3} [%] $k_1=1,01$	ϵ_{s3} [%] $k_2=1,5$
		Spodní mez	Horní mez				
100,852	25,5181	23,4771	27,5591	20,5483	20,5418	20,5448	20,6280
188,48	28,7532	26,8272	30,6792	20,84	20,8082	20,8229	21,2212
274,4	28,7306	26,7301	30,7311	21,2106	21,1459	21,1752	21,9707
407,2	29,0162	26,6179	31,4145	22,4494	22,2679	22,3457	24,4433
475,52	27,0255	24,8889	29,1621	22,6201	22,4218	22,5062	24,7804
567,68	28,0096	25,5275	30,4917	23,6638	23,358	23,4824	26,8205
698,69	28,5198	26,6990	30,3406	25,6323	25,1048	25,3031	30,5821
800	30,6324	28,1061	33,1587	26,5911	25,9468	26,1804	32,3755
902,256	30,5783	28,1295	33,0271	28,2504	27,3908	27,6843	35,4231
1000	31,6038	28,9354	34,2722	29,4215	28,4002	28,7352	37,5332



Obr. 21 Porovnání vypočítaných modelů tažnosti bez uvažování kontrakce průměru s experimentálními hodnotami tažnosti pro PP 2x20 tex

Tabulka č. 16 **Modely tažnosti dvojmo skané příze v porovnání s experimentální tažností pro PP 2x25 tex**

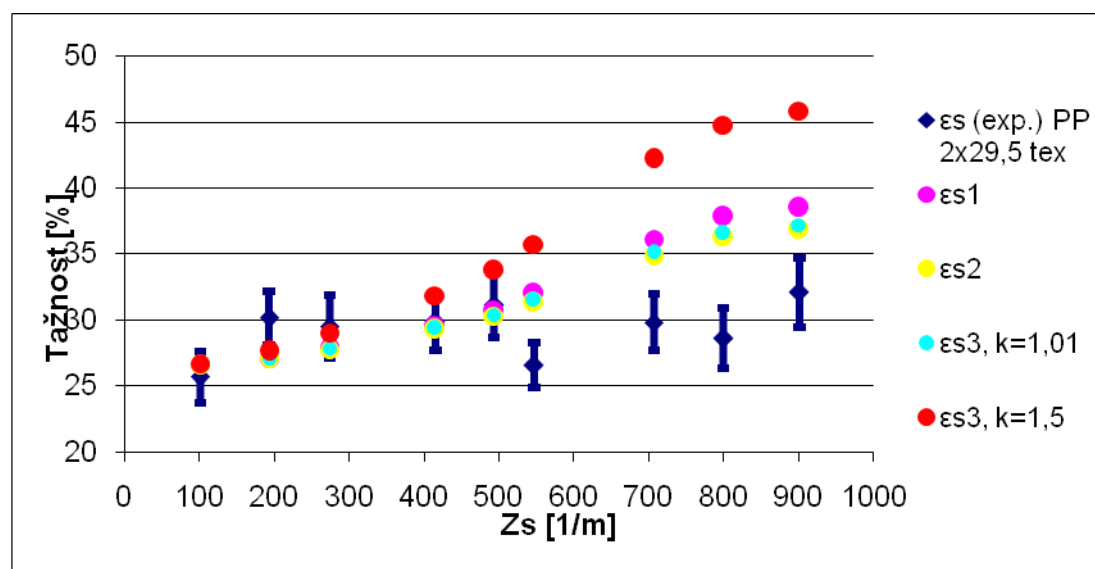
Z_s [1/m]	ϵ_s (experimentální) [%]	IS		ϵ_{s1} [%]	ϵ_{s2} [%]	ϵ_{s3} [%] $k_1=1,01$	ϵ_{s3} [%] $k_2=1,5$
		Spodní mez	Horní mez				
100,567	26,5742	24,5675	28,5809	25,1525	25,1393	25,1434	25,2557
189,76	28,1149	26,2309	29,9989	25,6574	25,5924	25,6124	26,1535
285,44	29,2157	27,1959	31,2355	26,5436	26,3838	26,4312	27,7140
409,28	29,3361	27,0358	31,6364	28,0719	27,7371	27,8311	30,3614
487,84	29,2435	26,9279	31,5591	28,6032	28,2043	28,3142	31,2694
574,56	26,9254	23,4379	30,4129	29,2047	28,731	28,8589	32,2896
705,795	28,3318	26,2946	30,3690	33,4921	32,4252	32,6769	39,3458
796,993	30,8596	28,5739	33,1453	34,3186	33,1255	33,4002	40,6652
906,25	30,461	28,3008	32,6212	36,8319	35,233	35,5765	44,6040
1000	31,9542	29,8428	34,0656	38,4055	36,5359	36,9214	47,0164



Obr. 22 **Porovnání vypočítaných modelů tažnosti bez uvažování kontrakce průměru s experimentálními hodnotami tažnosti pro PP 2x25 tex**

Tabulka č. 17 Modely tažnosti dvojmo skané příze v porovnání s experimentální tažností pro PP 2x29,5 tex

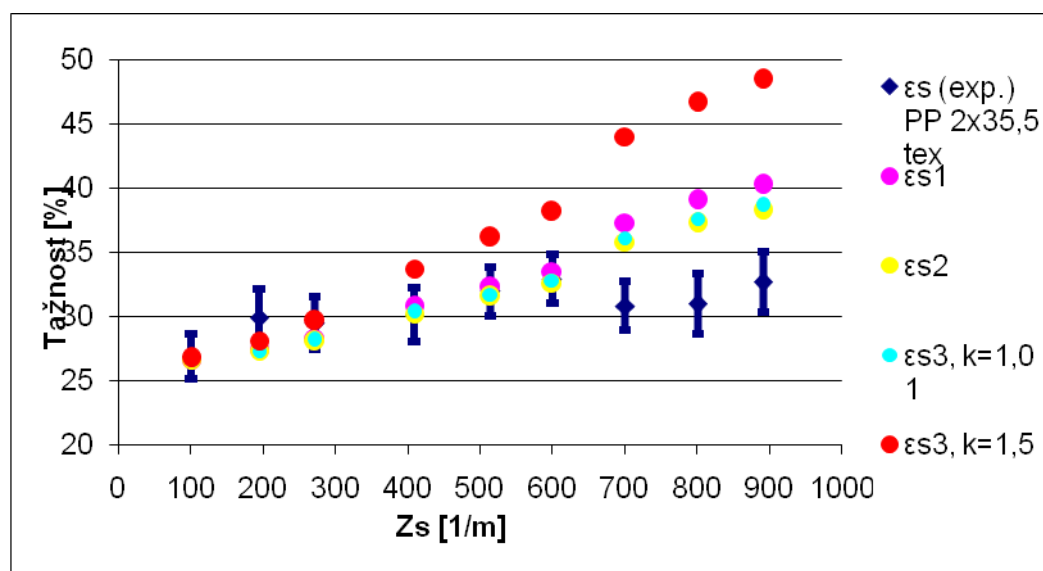
Z_s [1/m]	ϵ_s (experimentální) [%]	IS		ϵ_{s1} [%]	ϵ_{s2} [%]	ϵ_{s3} [%] $k_1=1,01$	ϵ_{s3} [%] $k_2=1,5$
		Spodní mez	Horní mez				
100,709	25,6658	23,7000	27,6316	26,5846	26,5674	26,5722	26,7035
192,8	30,1294	28,0981	32,1607	27,1035	27,0307	27,0507	27,5945
273,6	29,4561	27,0575	31,8547	27,9499	27,7828	27,8274	29,0349
415,04	29,8365	27,7039	31,9691	29,6288	29,2616	29,3542	31,8451
493,28	31,184	28,6923	33,6757	30,7945	30,2786	30,4037	33,7617
547,04	26,5638	24,8212	28,3064	32,0035	31,325	31,4834	35,7209
706,767	29,8226	27,6581	31,9871	36,1172	34,8246	35,0925	42,1850
800	28,6163	26,3262	30,9064	37,8311	36,2562	36,5681	44,7931
901,254	32,0805	29,4568	34,7042	38,537	36,8415	37,1712	45,8537



Obr. 23 Porovnání vypočítaných modelů tažnosti bez uvažování kontrakce průměru s experimentálními hodnotami tažnosti pro PP 2x29,5 tex

Tabulka č. 18 **Modely tažnosti dvojmo skané příze v porovnání s experimentální tažností pro PP 2x35,5 tex**

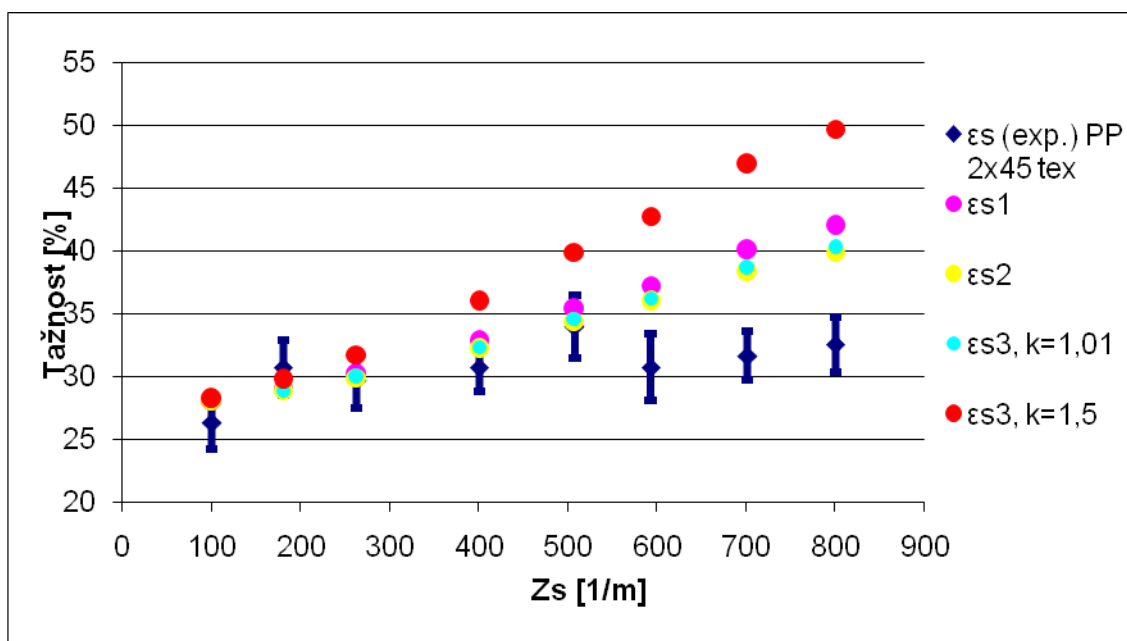
Z_s [1/m]	ϵ_s (experimentální) [%]	IS		ϵ_{s1} [%]	ϵ_{s2} [%]	ϵ_{s3} [%] $k_1=1,01$	ϵ_{s3} [%] $k_2=1,5$
		Spodní mez	Horní mez				
100,567	26,8621	25,1484	28,5758	26,5814	26,5594	26,5656	26,7335
194,56	29,8925	27,7152	32,0698	27,3647	27,258	27,2871	28,0770
271,2	29,4573	27,4467	31,4679	28,2768	28,0667	28,1222	29,6238
408,8	30,0929	27,9739	32,2119	30,7191	30,2073	30,3319	33,6776
514,56	31,9176	30,0093	33,8259	32,2381	31,5211	31,6877	36,1381
600	32,9008	31,0175	34,7841	33,4811	32,5865	32,7867	38,1188
700,152	30,805	28,8760	32,7340	37,2862	35,796	36,0959	44,0130
800,933	30,955	28,5832	33,3268	39,0533	37,2609	37,6056	46,6697
891,135	32,6367	30,2698	35,0036	40,2646	38,2562	38,6311	48,4635



Obr. 24 **Porovnání vypočítaných modelů tažnosti bez uvažování kontrakce průměru s experimentálními hodnotami tažnosti pro PP 2x35,5 tex**

Tabulka č. 19 **Modely tažnosti dvojmo skané příze v porovnání s experimentální tažností pro PP 2x45 tex**

Z_s [1/m]	ε_s (experimentální) [%]	IS		ε_{s1} [%]	ε_{s2} [%]	ε_{s3} [%] $k_1=1,01$	ε_{s3} [%] $k_2=1,5$
		Spodní mez	Horní mez				
100,424	26,363	24,2463	28,4797	28,0801	28,0491	28,0569	28,2699
180,48	30,7465	28,5638	32,9292	28,9872	28,8534	28,8861	29,7732
262,88	29,72	27,5299	31,9101	30,2091	29,929	29,9947	31,7711
400,32	30,7412	28,7925	32,6899	32,8435	32,2182	32,3534	35,9789
507,52	34,024	31,5278	36,5202	35,4047	34,4064	34,6068	39,9484
592,64	30,7418	28,0680	33,4156	37,2879	35,9929	36,2400	42,7968
701,22	31,6691	29,7444	33,5938	40,0989	38,3272	38,6420	46,9459
800	32,5677	30,3847	34,7507	42,0419	39,9179	40,2783	49,7467



Obr. 25 Porovnání vypočítaných modelů tažnosti bez uvažování kontrakce průměru s experimentálními hodnotami tažnosti pro PP 2x45 tex

Na obr. 21 – 25 je vidět, jak se oba modely chovají v porovnání s experimentálními hodnotami. Ve všech případech jsou si hodnoty modelů ε_{s1} , ε_{s2} a ε_{s3} s hodnotou koeficientu $k_1=1,01$ dost podobné, přičemž výsledná tažnost modelu vypočítaného podle vztahu (10) je s přibývajícím počtem zákrutů vyšší, než u ostatních. Naopak je tomu u modelu počítaného podle vztahu (28), kde je průběh tažnosti rovnoměrnější. Hodnoty dosažené pomocí vztahu (21) jsou téměř shodné s předchozím modelem a liší se pouze v desetinných číslech. Grafy na obrázcích č. 21 – 25 dále zachycují průběh modelových hodnot tažností, které byly počítány podle vztahu (28) za použití koeficientu $k_2=1,5$. Je jasně vidět, že tyto hodnoty jsou výrazně vyšší než hodnoty předchozích modelů a současně také tyto hodnoty rostou výrazně nad hodnoty experimentální. Již při prvním pohledu lze konstatovat, že tento model bude nejméně přesný. Z toho tedy vyplývá, že čím je číslo koeficientu vyšší, tím je také výsledná tažnost vyšší a tím více se odlišuje od hodnot experimentálních.

Z grafů lze dále také vyčíst, že hodnoty modelů ε_{s1} , ε_{s2} a ε_{s3} s hodnotou koeficientu $k_1=1,01$ se v nižších hodnotách zákrutů přibližují skutečné tažnosti dvojmo skané příze. Tyto hodnoty se začínají odchylovat v místě, kde příze dosahují přibližně 600 Z/m. Od této hodnoty se modely odchyľují od hodnot experimentálních a to tak, že tažnosti experimentální se ve skutečnosti nechovají podle pravidla čím více zákrutů, tím větší tažnost, jak předpokládají použité vztahy. Ve skutečnosti totiž působí na přízi vnitřní síly, které při zvyšování počtu zákrutů zvyšují napětí a tím snižují její pevnost. Z tohoto důvodu se také příze o více než 600 Z/m průmyslově nevyrábějí. Z tabulek č. 15 – 19 je jasně vidět, že výsledné hodnoty pro ε_{s2} a ε_{s3} s koeficientem $k_1=1,01$ jsou na všech úrovních zákrutů téměř shodné a liší se pouze nepatrně. Tuto skutečnost lze dobře pozorovat i na příslušných grafech, kde se tyto hodnoty téměř překrývají. Z toho lze usoudit, že úvaha o změně průměru příze v okamžiku jejího přetržení výslednou tažnost zásadně neovlivní. Závěrečná kap. 3.9 na str. 45 se bude podrobněji věnovat porovnání těchto modelů se skutečností a následně určení, který z těchto modelů se nejvíce přibližuje experimentu.

Výjimkou při hodnocení chování modelových hodnot vzhledem k experimentálním hodnotám je graf na obr. č. 21. Na něm lze pozorovat, že modelové hodnoty leží v první polovině grafu pod hodnotami experimentálními a až ve druhé polovině grafu se tyto hodnoty k sobě přibližují. To je způsobeno tím, že samotná

tažnost jednoduché příze o jemnosti 20 tex, pomocí které byly dále vypočítávány tažnosti modelových hodnot, je celkově nižší, než u ostatních jemností, viz kap. 3.6 na str. 31.

Následující kapitoly se budou věnovat porovnávání modelových hodnot s experimentálními pomocí funkce párového porovnání v programu QC EXPERT.

3.9 Párové porovnání experimentálních a modelových hodnot

Porovnávání bylo prováděno pomocí statistického programu QC EXPERT, konkrétně pomocí funkce Párové porovnání viz kap. 1.9.4 na str. 13.

Párové porovnání bylo prováděno celkem čtyřikrát a to vždy mezi hodnotami experimentálními a jejich odpovídajícími hodnotami modelovými. Pro zjištění přesnějších výsledků byly pro porovnání použity vždy všechny hodnoty, které byly získány při měření experimentálních tažností dvojmo skaných přízí. Všechny výstupy tohoto porovnávání jsou zachyceny v přílohách č. 1 a č. 2.

Párové porovnání bylo prováděno nejprve na všech datech (viz příloha č. 1) a následně na datech, která přísluší pouze hodnotám 200 – 600 Z/m (viz příloha č. 2). Tento způsob byl zvolen z toho důvodu, že v těchto hodnotách se, jak již bylo řečeno v předchozí kapitole 3.2 na str. 23, příze klasicky strojově vyrábějí a jsou tudíž v praxi používány a také z toho důvodu, že při pohledu na grafy na obrázcích č. 21 – 25 je jasně vidět, že tyto hodnoty se znatelně více přibližují hodnotám experimentálním.

3.9.1 Párové porovnání modelových hodnot počítaných podle vztahů (10), (21) a (28) a experimentálních hodnot při 100 – 1000 Z/m

Dle přílohy č. 1 byla vytvořena následující tabulka č. 21, která zachycuje hodnoty průměrných diferencí, které značí aritmetický průměr rozdílu dvojic experiment – model. Čím více se hodnota průměrné difference blíží 0, tím jsou tedy rozdíly mezi modelem a experimentem menší, což je důležité pro určení nejpřesnějšího modelu. Z tabulky vyplývá, že model, který obsahuje hodnoty, které se přibližují nejvíce 0 je model ε_{s2} a naopak nejvyšší rozdíl od 0 byl zjištěn u modelu ε_{s3} s $k_2=1,5$.

Následně tato tabulka obsahuje také hodnoty korelačních koeficientů, které naznačují typ závislosti mezi oběma porovnávanými soubory dat. Hodnoty korelačních koeficientů jsou všechny kladné, což ukazuje na závislosti pozitivní, tedy, že tyto hodnoty proměnných zároveň stoupají. Korelační koeficienty se povětšinou pohybují těsně pod hodnotou 0,5, což značí slabé závislosti. Výjimku tvoří hodnoty patřící k jemnosti příze 2x29,5 tex, kde korelační koeficienty dosahují hodnoty $R=0,24$. Lze se domnívat, že tento výsledek je důsledkem hlavně toho, že mezi experimentálními hodnotami tažností byly pro přízi o jemnosti 2x29,5 tex velké rozdíly oproti ostatním přízím, kdežto modelové hodnoty tažností mají růst podstatně rovnoměrnější.

Závěrem tohoto porovnávání je fakt, že rozdíly mezi hodnotami jsou ve všech případech významné, což napovídá, že žádný ze zkoumaných modelů přesně neodpovídá přímo skutečnosti, pouze se jí přibližuje. Jak již bylo zmíněno, nejvíce přibližujícím se modelem k experimentálním hodnotám je model ε_{s2} .

Tabulka č. 20 Výsledky z párového porovnání dosažené pomocí programu QC
EXPERT při hodnotách dat pro 100 – 1000 Z/m

Model	Jemnost	Průměrná difference	Korelační koeficient	Závěr
ϵ_{s1}	2x20	4,72751	0,4817	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	-1,50391	0,4358	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	-2,5359	0,2406	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x35,5	-2,12063	0,4486	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-3,38959	0,4492	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
ϵ_{s2}	2x20	-1,03536	0,4811	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	-0,79312	0,4349	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	-1,83024	0,2406	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x35,5	-1,27386	0,4520	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-2,5063	0,4522	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
$\epsilon_{s3}, k_1=1,01$	2x20	4,97	0,4811	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	-0,95714	0,4349	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	-1,97956	0,2408	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x35,5	-1,4493	0,4521	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-2,67242	0,4522	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
$\epsilon_{s3}, k_2=1,5$	2x20	1,287352	0,4805	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	-5,32321	0,4341	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	-5,95796	0,2410	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x35,5	-6,09688	0,4546	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-7,08692	0,4544	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ

3.9.2 Párové porovnání modelových hodnot počítaných podle vztahů (10), (21) a (28) a experimentálních hodnot při 200 – 600 Z/m

Následující tabulka č. 21 zobrazuje, jak již bylo řečeno v kapitole 3.9, hodnoty dosažené při porovnávání dat příslušících k 200 – 600 Z/m dle přílohy č. 2.

Tabulka č. 21 Výsledky z párového porovnání dosažené pomocí programu QC
 EXPERT při hodnotách dat pro 200 – 600 Z/m

Model	Jemnost	Průměrná diference	Korelační koeficient	Závěr
ε_{s1}	2x20	6,138711	-0,1546	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	0,927977	-0,0860	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	0,00239	-0,2666	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ
	2x35,5	0,483721	0,4967	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-1,59259	0,2532	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
ε_{s2}	2x20	6,293867	-0,1546	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	1,215409	-0,0849	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	0,357968	-0,2650	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ
	2x35,5	0,959767	0,4956	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-0,95076	0,2540	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
$\varepsilon_{s3}, k_1=1,01$	2x20	6,227383	-0,1546	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	1,135019	-0,0849	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	0,270956	-0,2650	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ
	2x35,5	0,847946	0,4956	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-1,08236	0,2540	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
$\varepsilon_{s3}, k_2=1,5$	2x20	4,43668	-0,1546	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x25	-1,02296	-0,0849	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x29,5	-2,07072	-0,2650	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x35,5	-2,1776	0,4956	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
	2x45	-4,59449	0,2540	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ

Tabulka č. 21 zachycuje výsledky z párového porovnání pro data 200 – 600 Z/m, kde bylo zjištěno, že u jemností 2x29,5 tex patří k modelům ε_{s1} , ε_{s2} a ε_{s3} bylo dosaženo nevýznamných rozdílů. Lze říci, že celkově zde bylo dosaženo lepších výsledků v tom smyslu, že hodnoty experimentu a modelu jsou si blíže a jejich hodnoty průměrných diferencí jsou celkově nižší než v předchozím případě a tedy se více blíží 0.

Zároveň ale hodnoty korelačních koeficientů napovídají, že vesměs se jedná o závislosti nepřímé, tedy že hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá. Tento opačný směr je však pouze nepatrný a spíše se blíží 0, což ukazuje na fakt neexistence lineárního vztahu mezi oběma soubory dat.

Opět lze pozorovat, že hodnoty průměrných diferencí vyšly celkově nejnižší u modelu ε_{s2} , tudíž ho lze opět označit jako nejpřesnější ne však přesně odpovídající skutečnosti vzhledem k uvedeným závěrům o významnosti rozdílů. Naopak nejméně přesným je opět model ε_{s3} s $k=1,5$.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s problematikou modelování tažnosti délkových útvarů, konkrétně dvojmo skané polypropylenové příze, stanovit vhodný model tažnosti dvojmo skané příze prostřednictvím komparace s experimentálními daty.

Rešeršní část práce obsahovala definování základních pojmů týkajících se délkových útvarů. Konkrétně tedy vysvětlení pojmů příze a dvojmo skaná příze a dále její základní charakteristiky jako jsou jemnost, zákrut a zákrutový koeficient. Byl zde vysvětlen pojem skaní a charakteristiky dvojmo skané příze, které souvisejí se zjišťováním její tažnosti.

V teoretické části byly pomocí matematických vztahů odvozovány možné modely tažnosti dvojmo skané příze za pomoci poznatků uvedených v rešeršní části. Hlavní myšlenkou pro odvození vhodného modelu tažnosti dvojmo skané příze byla úvaha o změně průměru dvojmo skané příze, který se během procesu namáhání mění. Otázkou bylo, zda tato změna průměru je při definování vhodného modelu tažnosti dvojmo skané příze pro výslednou hodnotu zásadní či nikoliv.

Experimentální část této diplomové práce spočívala v provádění měření na přístroji Instron, který je umístěn v laboratořích katedry Textilních technologií, Fakulty textilní. Předmětem měření byly 100% PP dvojmo skané příze o jemnostech 2x20, 2x25, 2x29.5, 2x35.5 a 2x45 tex. Jednotlivé příze byly rozděleny do skupin podle počtu skacích zákrutů a to od 100 do 1000 Z_s/m . Vzhledem k tomu, že přístrojově se vyrábějí pouze příze o skacích zákrutech 200 – 600 Z_s/m , bylo nutno vyrobit vlastní dvojmo skané příze. V práci je uveden postup tvorby těchto přízí.

Pomocí modelů definovaných v teoretické části této práce byly zjištěny modelové hodnoty tažností a následně porovnány s experimentálními daty. Po provedení tohoto porovnání bylo zjištěno, že dosažené hodnoty jsou si, až na výjimku modelu podle vztahu (28) pro $k_2=1,5$, velmi podobné. Tento model dosahuje díky vyššímu koeficientu také vyšších hodnot tažností, než u ostatní modelů. Dále bylo zjištěno, že při použití koeficientu $k_1=1,01$, se hodnoty výrazně podobají hodnotám tažností vypočítaných podle vztahu (21), kde se uvažuje možnost výpočtu bez kontrakce průměru. Výsledné hodnoty se od sebe lišily pouze nepatrně.

V samotném závěru práce byla provedena párová porovnání pomocí programu QC EXPERT mezi daty experimentálními a jejich příslušnými modely pro zjištění jejich vzájemné závislosti. Zde byly zjištěny hodnoty průměrných diferencí, korelačních koeficientů a následně byl učiněn závěr o významnosti či nevýznamnosti rozdílu. Až na tři případy u hodnot porovnávaných v kap. 3.9.2, kde bylo porovnání prováděno pouze na datech příslušících k hodnotám 200 – 600 Z/m, bylo zjištěno, že rozdíly dat jsou významné. Po porovnání hodnot průměrných diferencí bylo následně zjištěno, že nejvhodnějším modelem je ε_{s2} počítaný podle vztahu (21), a to jak u porovnávaného souboru 100 – 1000 Z/m, tak u následně porovnávaného souboru 200 – 600 Z/m. Lze se tedy domnívat, že změna průměru příze vyjádřená koeficientem k při procesu namáhání ovlivní výslednou tažnost pouze nepatrně a tudíž není třeba ji v tomto případě použít.

V úplném závěru této diplomové práce bych ráda shrnula, že je možno modelovat tažnost dvojmo skané příze při znalosti jejích určitých parametrů, ale je třeba mít na paměti, že modelování nikdy nedokáže přesně napodobit skutečnost. Jelikož tato práce se zabývala pouze porovnáním modelů tažností s polypropylenovými přízemi, bylo by zajímavé, zjistit, jestli modely odpovídají také dvojmo skaným přízím z jiných materiálů.

Seznam použité literatury:

- [1] Chorvátová, I.: Diplomová práce. Modelovanie deformácie pleteniny. Liberec 1993
- [2] Dostálová, M., Křivánková, M.: Základy textilní a oděvní výroby. Skripta TUL. Liberec 2004
- [3] Ursíny, P.: Předání I. Skripta TUL. Liberec 2001
- [4] Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví díl II. Skripta TUL. Liberec 2004
- [5] Ursíny, P.: Předání II. Skripta TUL. Liberec 1992
- [6] KTT – Studijní materiály – předměty – TTX (aplikace PDF) [on-line].
[cit. 4. 5. 2009].
Dostupné z: <<http://www.ft.tul.cz/depart/ktt/index.htm>>
- [7] Vyšanská, M.: Geometrické parametry dvojmo skané příze, interní materiál TUL, Liberec, 2007
- [8] Interní norma č. 22-102-01/01: Příčné rozměry dvojmo skané příze a průměr jednoduché příze. Podélné pohledy.
- [9] Staněk, J.: Textilní zbožíživalství - vláknenné suroviny, příze a nitě. Skripta TUL. Liberec 2001
- [10] Militký, J.: Textilní vlákna. Skripta TUL. Liberec 2002
- [11] Výzkumné centrum TEXTIL II – univerzální trhací přístroj INSTRON 4411
[on-line]. [cit. 4. 5. 2009].
Dostupné z: < http://vct.tul.cz/prac_fyz_vl5.php >
- [12] ČSN EN ISO 2062: Textilie. Nitě v návinech. Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu.
- [13] Meloun, M., Militký, J.: Statistická analýza experimentálních dat. Academica. Praha, 2004.

[14] TriloByte statistical software – QC Expert [on-line]. [cit. 4. 5. 2009].

Dostupné z: <<http://www.trilobyte.cz/Nase-Produkty/QC-Expert.html>>

[15] Návod k programu QC EXPERT.

[16] Korelační koeficient [on-line]. [cit. 14. 5. 2009].

Dostupné z: <www.pedf.cuni.cz/kpsp/skalouda/korelace.doc>

[17] ČSN EN ISO 2061: Textilie – zjišťování zákrutů nití – Metoda přímého počítání.

[18] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů. Skripta TUL. Liberec 2001.

Seznam příloh:

Příloha č. 1 - Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 100 – 1000 Z/m

Příloha č. 2 - Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 200 – 600 Z/m

Příloha č. 1

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 100 – 1000 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ϵ_{s1} (100 – 1000 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	506	507	451	458	413
Průměrná difference	4,72751	-1,50391	-2,5359	-2,12063	-3,38959
Interval spolehlivosti	4,468528	-1,86563	-2,96443	-2,51939	-3,81889
	4,986492	-1,14218	-2,10736	-1,72188	-2,96029
Směr. odchylka	2,965207	4,145648	4,630797	4,342488	4,438218
Rozptyl	8,792455	17,18639	21,44428	18,8572	19,69778
Korel. koef. R(x,y)	0,48172	0,435813	0,240634	0,448537	0,44906
Test významnosti rozdílu					
t-statistika	1,594327	0,362767	0,547616	0,488345	0,763727
Počet stupňů volnosti	505	506	450	457	412
Kritická hodnota	1,964673	1,964663	1,96525	1,965168	1,965739
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	0	1,26E-15	8,14E-28	2,28E-23	2,09E-43

Příloha č. 1

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 100 – 1000 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s2} (100 – 1000 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	506	507	451	458	413
Průměrná difference	-1,03536	-0,79312	-1,83024	-1,27386	-2,5063
Interval spolehlivosti	-1,34402	-1,11331	-2,21532	-1,62001	-2,88143
	-0,72669	-0,47292	-1,44517	3,769554	-2,13116
Směr. odchylka	3,534015	3,669717	4,161202	3,769554	3,878258
Rozptyl	12,48927	13,46683	17,3156	14,20953	15,04089
Korel. koef. R(x,y)	0,479397	0,434773	0,24065	0,451926	0,452174
Test významnosti rozdílu					
t-statistika :	0,292969	0,216125	0,439835	0,337935	0,646243
Počet stupňů volnosti	505	506	450	457	412
Kritická hodnota	1,964673	1,964663	1,96525	1,965168	1,965739
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	5,54E-11	7,6E-07	2,23E-19	1,01E-12	1,86E-33

Příloha č. 1

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 100 – 1000 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s3} , $k_2=1,5$ (100 – 1000 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	506	507	451	458	413
Průměrná difference	1,287352	-5,32321	-5,95796	-6,09688	-7,08692
Interval spolehlivosti	0,848019	-5,90761	-6,59515	-6,72779	-7,73645
	1,726685	-4,73882	-5,32077	-5,46596	-6,4374
Směr. odchylka	5,030125	6,69761	6,885574	6,87074	6,715009
Rozptyl	25,30216	44,85797	47,41113	47,20706	45,09134
Korel. koef. R(x,y)	0,48045	0,434023	0,240909	0,454649	0,454351
Test významnosti rozdílů					
t-statistika	0,255928	0,794793	0,865282	0,887368	1,055386
Počet stupňů volnosti	505	506	450	457	412
Kritická hodnota	1,964673	1,964663	1,96525	1,965168	1,965739
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	7,44E-09	3,73E-56	5,65E-57	5,22E-60	2,25E-69

Příloha č. 1

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 100 – 1000 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s3} , $k_1=1,01$ (100 – 1000 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	506	507	451	458	413
Průměrná difference	4,97	-0,95714	-1,97956	-1,4493	-2,67242
Interval spolehlivosti	4,721391	-1,2857	-2,37272	-1,80475	-3,0561
	5,218609	-0,62858	-1,58639	-1,09385	-2,28874
Směr. odchylka	2,846444	3,76553	4,24863	3,870899	3,966594
Rozptyl	8,102243	14,17922	18,05086	14,98386	15,73387
Korel. koef. R(x,y)	0,481312	0,43468	0,240696	0,451928	0,452306
Test významnosti rozdílu					
t-statistika	1,746038	0,254185	0,465928	0,374409	0,673732
Počet stupňů volnosti	505	506	450	457	412
Kritická hodnota	1,964673	1,964663	1,96525	1,965168	1,965739
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	0	8,95E-09	2,56E-21	4,72E-15	9,83E-36

Příloha č. 2

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 200 – 600 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s1} (200 - 600 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	256	257	251	258	263
Průměrná difference	6,138711	0,927977	0,00239	0,483721	-1,59259
Interval spolehlivosti	5,811553	0,553826	-0,44102	0,192401	-2,02809
	6,465869	1,302127	0,445799	0,775041	-1,15708
Směr. odchylka	2,658054	3,045836	3,566851	2,376195	3,586814
Rozptyl	7,065251	9,277119	12,72243	5,646302	12,86523
Korel. koef. R(x,y)	-0,15456	-0,08592	-0,26665	0,496526	0,252835
Test významnosti rozdílu					
t-statistika	2,309476	0,304671	0,00067	0,20357	0,444011
Počet stupňů volnosti	255	256	250	257	262
Kritická hodnota	1,969311	1,969274	1,969498	1,969237	1,96906
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	0	9,16E-07	0,495768	0,000612	3,17E-12

Příloha č. 2

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 200 – 600 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s2} (200 – 600 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	256	257	251	258	263
Průměrná difference	6,293867	1,215409	0,357968	0,959767	-0,95076
Interval spolehlivosti	5,972843	0,850398	-0,06638	0,683861	-1,35155
	6,614892	1,580419	0,782321	1,235674	-0,54997
Směr. odchylka	2,608218	2,971432	3,413563	2,250473	3,30094
Rozptyl	6,802802	8,829409	11,65241	5,064627	10,8962
Korel. koef. R(x,y)	-0,15423	-0,08483	-0,2644	0,495567	0,254147
Test významnosti rozdílu					
t-statistika	2,413091	0,409031	0,104866	0,426474	0,288027
Počet stupňů volnosti	255	256	250	257	262
Kritická hodnota	1,969311	1,969274	1,969498	1,969237	1,96906
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	0	1,5E-10	0,048944	2,71E-11	2,4E-06

Příloha č. 2

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 200 – 600 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s3} , $k_2=1,5$ (200 - 600 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	256	257	251	258	263
Průměrná difference	4,43668	-1,02296	-2,07072	-2,1776	-4,59449
Interval spolehlivosti	4,031264	-1,46921	-2,62628	-2,59022	-5,19992
	4,842096	-0,5767	-1,51516	-1,76497	-3,98906
Směr. odchylka	3,293871	3,63281	4,469015	3,365629	4,986345
Rozptyl	10,84958	13,19731	19,97209	11,32746	24,86364
Korel. koef. R(x,y)	-0,15491	-0,08396	-0,26367	0,494691	0,254457
Test významnosti rozdílu					
t-statistika	1,34695	0,281588	0,46335	0,64701	0,921414
Počet stupňů volnosti	255	256	250	257	262
Kritická hodnota	1,969311	1,969274	1,969498	1,969237	1,96906
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	1,14E-59	4,85E-06	1,49E-12	1,19E-21	3,09E-37

Příloha č. 2

Výsledky párových porovnání mezi modelovými a experimentálními hodnotami dosažené pomocí programu QC Expert pro data 200 – 600 Z/m

Porovnávání experimentálních hodnot a ε_{s3} , $k_1=1,01$ (200 - 600 Z/m)

Hladina významnosti	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Porovnávané sloupce	exp. a model 2x20 tex	exp. a model 2x25 tex	exp. a model 2x29,5 tex	exp. a model 2x35,5 tex	exp. a model 2x45 tex
Analýza difference X - Y					
Počet dat	256	257	251	258	263
Průměrná difference	6,227383	1,135019	0,270956	0,847946	-1,08236
Interval spolehlivosti	5,903862	0,767632	-0,15762	0,568978	-1,48916
	6,550904	1,502407	0,699533	1,126914	-0,67555
Směr. odchylka	2,6285	2,990779	3,447546	2,275445	3,350454
Rozptyl	6,909013	8,944759	11,88558	5,177651	11,22554
Korel. koef. R(x,y)	-0,15474	-0,08512	-0,26525	0,495808	0,254318
Test významnosti rozdílů					
t-statistika	2,369177	0,379506	0,078594	0,37265	0,323048
Počet stupňů volnosti	255	256	250	257	262
Kritická hodnota	1,969311	1,969274	1,969498	1,969237	1,96906
Závěr	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou NEVÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ	Rozdíly jsou VÝZNAMNÉ
Pravděpodobnost	0	2,13E-09	0,107119	3,61E-09	1,66E-07